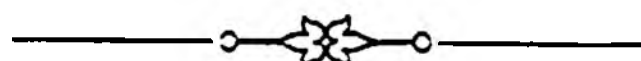


# КУРСЪ НИЗШЕЙ ГЕОДЕЗИИ



СОСТАВИЛЪ

**А. Б И К Ъ,**

Межевой Инженеръ, Старшій преподаватель Констант. Межеваго Института.

**ЧАСТЬ I.**

Одобрена Конференціею Константиновскаго Межеваго Института, какъ руководство при преподаваніи въ межевыхъ учебныхъ заведеніяхъ.



Визбачні Подарунків  
ІНСТИТУТЪ М. С. А. УМІВІД

МОСКВА

Типографія Э. Лиснера и Ю. Романа, Воздвиженка, Крестовоздвиж. пер., д. Лиснера.  
1891.

## ПРЕДИСЛОВІЕ.

*Настоящій курсъ составляется по порученію Конференціи Константиновскаго Межеваго Института и печатается на казенныя средства, ассигнованныя на изданіе учебника низшей геодезіи для межевыхъ учебныхъ заведеній Высочайше утвержденнымъ 17-го ноября 1889 года мнѣніемъ Государственнаго Совета.*

*Въ виду указаннаго назначенія курса необходимо было прежде всего сообразить его объемъ и систему съ программю, принятою для преподаванія низшей геодезіи въ Межевомъ Институтѣ и землемѣрныхъ училищахъ. По этой программѣ въ первомъ землемѣрномъ классѣ Института и училищъ положено преподаваніе уломярною съемки астролябією съ діоптрами и мензульной съ алидадою съ необходимыми предварительными свѣдѣніями, во второмъ классѣ — изложеніе тѣхъ же родовъ съемоковъ со всѣми въ нихъ усовершенствованіями, обусловливаемыми примѣненіемъ къ инструментамъ теоріи свѣта; курсъ же третьяго класса посвящается ученію о нивелированіи и изложенію нѣкоторыхъ дополнительныхъ статей. Такая система учебной программы избрана какъ по соображеніямъ педагогическимъ — въ цѣляхъ соблюденія начала постепеннаго перехода отъ простѣйшаго къ болѣе сложному, такъ и вслѣдствіе необходимости сообразоваться въ изложеніи различныхъ отдѣловъ курса съ степенью подготовки по математикѣ и физикѣ учениковъ землемѣрныхъ училищъ, которые приступаютъ къ изученію тригонометріи и теоріи свѣта изъ физики только во второмъ классѣ. Кроме того имѣлось еще въ виду, чтобы учащіеся уже съ перваго года были подготовлены къ серьезной и разнообразной лѣтней практикѣ.*

*Однако слѣдованіе этой программѣ при составленіи курса представлялось весьма неудобнымъ. Главное достоинство учебной программы — концентрическое преподаваніе, дающее возможность учащимся возобновлять въ памяти пройденныя въ простѣйшемъ видѣ*

отдѣлы и за симъ проходить тѣ же отдѣлы въ ихъ усовершенствованномъ и развитомъ видѣ, было бы въ курсѣ, написанномъ по такой программѣ, существеннымъ недостаткомъ, такъ какъ это вызвало бы частыя повторенія, увеличило бы объемъ курса, уменьшило бы ясность, краткость и общность изложенія и возвысило бы стоимость изданія. Кроме сего, сдѣлалось бы еще весьма затруднительнымъ помѣщеніе въ учебникъ дополнительныхъ статей, подлежащихъ изученію въ инженерномъ отдѣленіи Института и нужныхъ для изученія геодезіи съ специальными цѣлями. Между тѣмъ эти дополнительные статьи, предметъ коихъ болѣею частью составляютъ вопросы геодезіи, получившіе за послѣднее время разрѣшеніе благодаря работамъ заграничныхъ ученыхъ и практиковъ, пріобрѣтаютъ особенную важность и для преподавателей геодезіи въ землемѣрныхъ училищахъ, не имѣющихъ теперь почти никакой возможности ознакомленія съ ними вслѣдствіе отсутствія на русскомъ языкѣ соотвѣтствующихъ сочиненій и разбросанности матеріаловъ на иностранныхъ языкахъ, по коимъ ихъ можно изучить. Точное слѣдованіе въ изложеніи курса учебной программѣ представляло бы весьма важное неудобство и въ томъ отношеніи, что эта программа, поставленная въ прямую зависимость отъ общаго развитія и степени математическихъ знаній учащихся, можетъ подлежать нѣкоторымъ измѣненіямъ отъ случайныхъ причинъ, напримѣръ, отъ состава даннаго класса, отъ хода преподаванія математики и физики, между тѣмъ какъ курсъ геодезіи, на который тратятся весьма значительныя казенныя средства, долженъ быть установленъ вполне твердо, на долгое время, независимо отъ упомянутыхъ случайностей.

Поэтому для настоящаго курса была составлена и одобрена Конференціею Константиновскаго Межеваго Института другая программа, по которой обыкновенно излагаются полныя руководства по геодезіи, съ соблюденіемъ того неперемѣннаго условія, чтобы въ курсѣ были изложены съ предпочтительною полнотою и тщательностью всѣ отдѣлы, имѣющіе особую важность для лицъ, получающихъ спеціальное межевое образованіе.

Согласно этой программѣ весь курсъ предположено раздѣлить на три части, при чемъ къ издаваемой теперь первой части отнесены слѣдующіе отдѣлы:

а) Предварительныя понятія со включенными въ нихъ единицами мѣры, употребляющимися въ геодезіи, и краткими свѣдѣ-

ніями о погрѣшностяхъ измѣреній, изложенными хотя и элементарно, однако настолько подробно, что, пользуясь ими, можно не только оцѣнивать степень точности того или другого приѣма измѣренія, но даже и опредѣлять тотъ предѣлъ допускаемой въ данномъ случаѣ ошибки, превышая который, она должна считаться уже не неизбежною, а грубою; иначе говоря, можно опредѣлять, такъ называемую, предѣльную ошибку каждаго рода измѣреній.

b) Описание и употребленіе отдѣльныхъ частей геодезическихъ инструментовъ. Выдѣленіе этихъ частей въ особую группу, предшествующую разсмотрѣнію самыхъ геодезическихъ инструментовъ, имѣетъ то преимущество предъ принятымъ въ учебной программѣ изложеніемъ ихъ особо по каждому инструменту, что исключаетъ необходимость многихъ неизбежныхъ при послѣдней системѣ повтореній и даетъ возможность изложить части инструментовъ съ надлежащею полнотою и общностью.

c) Снаряды и приемы для составленія плановъ. Они раздѣлены на двѣ группы: первая изъ нихъ служитъ для накладки плана, а вторая для его переписки.

d) Обозначеніе точекъ и измѣреніе линий на мѣстности; при чемъ разсмотрѣны снаряды для непосредственнаго измѣренія линий: лента, цѣпь, тесьма, мѣрные брусья (Latten) и сажень, а затѣмъ и дальномѣры: Эртеля, Порро и Штампфера.

e) Экеры и съемка ими.

f) Мензулы и производимыя ими съемки.

g) Выраженіе на планахъ неровностей мѣстности. Въ этомъ послѣднемъ отдѣлѣ объяснено изображеніе неровностей горизонталями, штрихами и отмывкою или тушевкой.

Вторая часть курса, которая выйдетъ не далѣе начала 1892 г., будетъ заключать въ себѣ угломерные инструменты и съемку ими, а третья всѣ три способа нивелированія: геометрическое, геодезическое и барометрическое. Больше подробное содержаніе этихъ частей будетъ помѣщено въ предисловіяхъ къ нимъ.

Пользованіе учащимися такимъ курсомъ при изученіи геодезій едва ли встрѣтитъ какія-либо затрудненія. Оно потребуетъ только указанія со стороны преподавателя тѣхъ мѣстъ книги, въ которыхъ излагается тотъ или иной вопросъ учебной программы. Притомъ эти переходы въ разныя части книги не будутъ весьма значительны, такъ какъ по многимъ крупнымъ отдѣламъ программы курса и учебная вполне совпадаютъ; въ тѣхъ же случаяхъ, когда какой-либо отдѣлъ курса помѣщенъ въ разныхъ частяхъ учебной программы, пользованіе курсомъ облегчается тѣмъ

что онъ разбитъ на отдѣльные параграфы. Главное же требованіе, которое можетъ быть предъявлено къ учебному руководству по спеціальному предмету, а именно, чтобы въ немъ заключались всѣ вопросы, подлежащіе усвоенію учащимися, и чтобы каждому вопросу было отведено мѣсто, соответствующее его значенію въ спеціальному образованію, будетъ вполне соблюдено въ составляемомъ курсѣ. Поэтому, несмотря на несоответствіе программъ курса и учебной, настоящей курсъ слѣдуетъ признать удовлетворяющимъ определенному Высочайше утвержденнымъ 17-го ноября 1889 года мнѣніемъ Государственнаго Совѣта его прямому назначенію — служить учебникомъ Низшей Геодезіи для межевыхъ учебныхъ заведеній.

Всѣ сообщаемыя въ курсѣ свѣдѣнія сопровождаются въ подлежащихъ случаяхъ чертежами и соответственными математическими выводами.

Книга напечатана двумя шрифтами крупнымъ и мелкимъ. Крупнымъ шрифтомъ помѣщено все то, что существенно необходимо при изученіи Низшей Геодезіи, а мелкимъ — статьи, представляющія пополненіе сообщеннаго уже въ крупномъ шрифтѣ, изслѣдованіе погрѣшностей инструментовъ и дѣйствій ими, изслѣдованіе точностей инструментовъ, доказательства нѣкоторыхъ положеній и, наконецъ, все основанное на высшей математикѣ. При этомъ, выборъ того или другаго шрифта сдѣланъ такъ, что чрезъ пропускъ статей мелкаго шрифта не нарушается связь всего напечатаннаго крупнымъ шрифтомъ.

Нѣкоторые чертежи этой книги тождественны съ соответственными чертежами Курса Низшей Геодезіи Ф. Мейена вслѣдствіе того, что они отпечатаны по пріобрѣтеннымъ клише чертежей этого курса.

Съ особенною благодарностью вспоминаю о томъ, что изданіе производится на средства, исходатайствованныя, по представленію г. Директора Межеваго Института Генералъ - Маіора Лялина, г. Управляющимъ Межевою Частью, Сенаторомъ И. И. Шаминымъ.

При составленіи этой части мнѣ оказали помощь межевые инженеры: Сергій Соловьевъ и Николай Афонасьевъ; изъ нихъ первый просмотрѣлъ нѣкоторыя таблицы, приложенныя въ концѣ книги, и числовые примѣры текста, а также вновь составилъ по данному матеріалу статью о масштабахъ; второй же держалъ по меньшей мѣрѣ два раза корректуру почти каждая печатавшагося листа. За труды этихъ лицъ выражаю имъ мою благодарность.

Въ заключеніе считаю долгомъ выразить глубокую признательность профессору геодезіи въ технической высшей школѣ въ Ганноверѣ д-ру В. Иордану, который не только разрѣшилъ мнѣ пользоваться третьимъ изданіемъ его почтеннаго сочиненія «*Handbuch der Vermessungskunde 1888*», но даже распорядился о томъ, чтобы издатель его сочиненія уступилъ мнѣ за пониженную цѣну нужные мнѣ клише. Последнею изъ этихъ любезностей я, къ сожалѣнію, еще не могъ воспользоваться, первой же я обязанъ критическимъ изложеніемъ въ моемъ курсѣ нѣкоторыхъ статей.

Здѣсь кстати еще указать на то, что изъ большого числа сочиненій, служившихъ мнѣ подспорьемъ, я особенно обязанъ «Курсу Низшей Геодезіи», части 1, составленной Ф. Мейенъ, и части 2, составленной Н. Смирновымъ.

Москва 1891 г.





# ОГЛАВЛЕНІЕ.

(Цѣлыя параграфы и отдѣльныя статьи, имѣющія впереди звѣздочку, напечатаны мелкимъ шрифтомъ.)

## Предварительныя понятія.

§§	Стран.
1. Предметъ Геодезіи. . . . .	1
2. Понятіе объ измѣреніи. . . . .	—
3. Понятіе о видѣ и величинѣ земли. . . . .	2
4. Невозможность изображенія части земной поверхности на плоскости . . . . .	4
5. Сферическое горизонтальное проложеніе. . . . .	5
6. Предѣльная величина сферическаго горизонтальнаго проложенія, принимаемая за часть плоскости. . . . .	—
7. Плоское горизонтальное проложеніе; необходимость опредѣленія горизонтальнаго проложенія линій и угловъ земной поверхности . . . . .	8
8. Относительная высота двухъ точекъ земной поверхности. . . . .	10
9. Съемка; основное ея правило. . . . .	—
10. Раздѣленіе Геодезіи. . . . .	11
11. Карта, планъ и профиль. . . . .	—
12. Инструменты, употребляющіеся при геодезическихъ дѣйствіяхъ. . . . .	12
13. Единицы мѣры, употребляющіяся въ Геодезіи: единицы мѣры вообще. . . . .	13
14. Мѣры русскія. . . . .	—
15. Мѣры англійскія. . . . .	16
16. Мѣры французскія. . . . .	—
17. Единица мѣры для угловъ; дѣленіе окружности на $360^0$ и $400^g$	19
18. Нѣкоторыя числовыя данныя. . . . .	20
19. О погрѣшностяхъ измѣреній и уравниваніи ихъ: общее понятіе. . . . .	21
20. Погрѣшности случайныя — абсолютныя и относительныя. . . . .	—
21. Непосредственныя наблюденія: начало ариѳметической средины. . . . .	22
22. Средняя, вѣроятная и предѣльная ошибки . . . . .	23



§§	Стран.
23. Вычисленіе средней ошибки одного наблюденія и средней ошибки ариѣметической середины, числовые примѣры. . . . .	25
24. Мѣра точности. . . . .	31
25. Вѣсь наблюденія, общая ариѣметическая середина. . . . .	—
26. Функціи непосредственныхъ наблюденій. . . . .	33
* 27. Вычисленіе средней ошибки изъ разностей наблюденій. . . . .	37
* 28. Посредственныя наблюденія: вѣроятнѣйшее значеніе неизвѣстныхъ, уравненія погрѣшностей и нормальныя уравненія	38
* 29. Рѣшеніе нормальныхъ уравненій по способу Гаусса. . . . .	40
* 30. Числовой примѣръ. . . . .	43

## Г Л А В А I.

### Отдѣльныя части инструментовъ.

√31. Углы, разсматриваемые въ Геодезіи. . . . .	45
√32. Раздѣленіе инструментовъ для опредѣленія угловъ на три рода	—
33. Лимбъ и алидада. . . . .	46
34. Подставка. . . . .	47
35. Діоптры: коллимаціонная плоскость, визированіе діоптрами	48
36. Точность діоптровъ. . . . .	49
37. Недостатки діоптровъ. . . . .	50
38. Зрительныя трубы: труба Кеплера, оптическая и геометрическая оси, коллимаціонная плоскость, увеличеніе, поле зрѣнія, яркость изображенія. . . . .	—
39. Недостатки трубы Кеплера, возможное устраненіе ихъ. . . . .	54
40. Сложные окуляры — Гюйгенса и Рамсдена, сравнительныя ихъ достоинства, * сложный окуляръ Кельнера . . . . .	55
41. Земная труба . . . . .	60
42. Сѣтка . . . . .	61
43. Установка трубы, визированіе трубою. . . . .	62
44. Условія, требуемыя отъ трубы. . . . .	64
45. Способы опредѣленія увеличенія трубы. . . . .	66
46. Точность визированія трубою . . . . .	68
47. Чистка стеколъ и натягиваніе нитей. . . . .	—
48. Микроскопъ: простой и сложный, увеличеніе ихъ. . . . .	70
49. Верньеръ: прямой (съ $n + 1$ дѣленіемъ) и обратный (съ $n - 1$ дѣленіемъ), теорія ихъ и употребленіе. . . . .	73
50. Построеніе верньера по заданной точности его. . . . .	78
51. Повѣрка верньера. . . . .	79
52. Уничтоженіе вліянія эксцентрицитета алидады. . . . .	—
* 53. Нѣкоторыя подробности о построеніи ноніуса и отсчитываніи посредствомъ транверселей. . . . .	80
* 54. Микрометръ: его устройство. . . . .	81
* 55. Употребленіе микрометра. . . . .	83

§§	<i>Стран.</i>
* 56. Установка микрометра . . . . .	85
* 57. Сравнительныя достоинства верньера и микрометра. . . . .	86
58. Уровень: ватерпасъ, повѣрка и употребленіе его. . . . .	—
59. Уровни — цилиндрическіе и круглые, образованіе безвоздушнаго пузырька. . . . .	88
60. Ось уровня цилиндрическаго и круглаго. . . . .	—
61. Оправы уровней. . . . .	89
62. Опредѣленіе угла наклоненія оси уровня. . . . .	91
63. Чувствительность уровня и вліяніе температуры на правильное положеніе пузырька его . . . . .	94
* 64. Опредѣленіе угловой величины одного дѣленія уровня. . . . .	96
65. Повѣрки цилиндрическаго и круглаго уровней. . . . .	98
66. Употребленіе ихъ. . . . .	103
67. Магнитная стрѣлка: общее понятіе, полюсы и оси стрѣлки	106
68. Склоненіе и наклоненіе стрѣлки, измѣненія склоненія. . . . .	107
69. Способы намагничиванія стрѣлокъ. . . . .	110
70. Градусное кольцо для магнитной стрѣлки. . . . .	—
71. Магнитный и истинный азимуть и румбъ. . . . .	111
72. Измѣреніе азимутовъ и румбовъ. . . . .	112
73. Точность измѣренія азимутовъ и румбовъ по стрѣлкѣ. . . . .	115
74. Перечисленіе азимутовъ на румбы и обратно . . . . .	—
75. Перечисленіе магнитныхъ азимутовъ и румбовъ на истинные и обратно . . . . .	116
76. Штативы, различное ихъ устройство. . . . .	117
77. Винты: становой, подъемный, нажимательный, микрометричный и исправительный . . . . .	120

## Г Л А В А II.

### Снаряды и приемы для составленія плановъ.

78. Раздѣленіе этихъ снарядовъ на двѣ группы . . . . .	121
79. Снаряды и приспособленія для накладки плановъ:	
а) линейка и треугольникъ, повѣрка ихъ. . . . .	—
80 и 81. б) Циркули — простой и штангенъ . . . . .	122
82. в) Масштабъ — линейный и численный . . . . .	124
83. Построеніе и употребленіе линейнаго масштаба. . . . .	—
84. Опредѣленіе численнаго масштаба по данному линейному и обратно . . . . .	127
85. Задачи на масштабы. . . . .	129
86. Геометрическіе способы дѣленія основанія линейнаго масштаба на равныя части. . . . .	135
87. Повѣрка масштаба . . . . .	136
88 и 89. д) Транспортиръ простой, повѣрка его и употребленіе. . . . .	137
90. Транспортиръ съ алидадою и верньеромъ, повѣрка и употребленіе его. . . . .	140

§§	Стран.
91. Точность транспорта. . . . .	146
92. е) Таблица хордъ, ея употребленіе и точность. . . . .	147
93. Снаряды и приемы для перерисовки плана: перерисовка безъ измѣненія масштаба оригинала. . . . .	148
94. Перерисовка съ измѣненіемъ масштаба, два случая — измѣненіе линейное и измѣненіе площади. . . . .	149
95. Перерисовка посредствомъ разбивки оригинала на квадраты и треугольники. . . . .	150
96. Диаграмма и пропорціональный циркуль. . . . .	152
97. Пантографъ — на колесикахъ и висячій; теорія и устройство. . . . .	154
98. Установка и употребленіе пантографовъ. . . . .	161

### Г Л А В А III.

#### Обозначеніе точекъ и измѣреніе линій на мѣстности.

99. Обозначеніе точекъ на мѣстности, сигналы — естественные и искусственные, постоянные пункты мѣстности, межевые знаки — столбъ, яма и межникъ. . . . .	163
100. Вѣшеніе линій на открытой мѣстности, вѣшеніе чрезъ лощину и по скату горы, створъ предметовъ. . . . .	166
101. Снаряды для измѣренія линій мѣстности: а) мѣрительная стальная лента и цѣпь, устройства ихъ, принадлежности и повѣрка. . . . .	173
102. Употребленіе ленты и цѣпи, введеніе поправки отъ невѣрности. . . . .	176
103. б) Мѣрная тесьма — устройство и повѣрка. . . . .	177
* 104. с) Мѣрные брусья — устройство, употребленіе и повѣрка. . . . .	178
105. д) Сажень. . . . .	179
106. Измѣреніе линій наклонныхъ, 2 способа; вычисленіе горизонтальнаго проложенія линіи по данной длинѣ наклонной линіи и углу наклоненія, а также по данной наклонной линіи и относительной высотѣ точекъ. . . . .	180
107. Простѣйшій эклиметръ — устройство, повѣрка и употребленіе. . . . .	183
108. Непосредственное измѣреніе горизонтальнаго проложенія линій. . . . .	185
109. Точность измѣренія линій цѣпью, лентою и брусьями. . . . .	186
110. Опредѣленіе длины линій шагами и колесомъ: педометръ, масштабъ шаговъ, одометръ; опредѣленіе длины на-глазъ (глазомѣръ). . . . .	189
111. е) Дальномѣры: общее понятіе, различные роды ихъ. . . . .	193
112. Понятіе о дальномѣрахъ безъ реекъ — дальномѣръ Главнаго Штаба. . . . .	194

§§	<i>Стран.</i>
113. Дальномѣры съ рейками: устройство дальномѣровъ съ постояннымъ угломъ — Эртеля * и Порро . . . . .	—
114. Устройство рейки. . . . .	195
115. Теорія дальномѣровъ Эртеля * и Порро . . . . .	196
116. Опредѣленіе постоянныхъ . . . . .	201
117. Изготовленіе рейки въ случаѣ неподвижныхъ нитей, установка подвижныхъ нитей, преимущество и недостатки ихъ, * установка дальномѣра Порро. . . . .	203
118. Измѣреніе линій горизонтальныхъ и наклонныхъ, таблица поправокъ и діаграмма. . . . .	204
119. Дальномѣръ съ измѣняющимся угломъ, Штампфера: устройство, теорія и употребленіе. . . . .	209
120. Точность опредѣленія разстояній дальномѣрами съ рейкою, сравнительное ихъ достоинство. . . . .	214
* 121. Вліяніе неотвѣснаго положенія рейки. . . . .	—

## Г Л А В А IV.

### Инструменты для постоянныхъ угловъ.

122 и 123. Экеры простые — крестообразный, восьмигранный, цилиндрической и конической; устройство и повѣрка, употребленіе . . . . .	217
124. Экеры зеркальные — однозеркальный, двузеркальный и трехзеркальный; устройство ихъ, теорія, употребленіе и повѣрка . . . . .	221
125. Экеры призмённые — однопризмённый и двупризмённый; устройство ихъ, теорія, употребленіе и повѣрка. . . . .	228
126. Сравнительное достоинство экеровъ простыхъ и отражательныхъ; точность ихъ. . . . .	234
127. Задачи, рѣшаемыя на мѣстности: проведеніе перпендикуляровъ и параллелей. . . . .	236
128. Опредѣленіе точки пересѣченія двухъ линій . . . . .	240
129. Вѣщеніе линіи при незначительномъ мѣстномъ препятствіи и чрезъ небольшой лѣсъ. . . . .	—
130. Опредѣленіе угловъ . . . . .	243
131. Назначеніе на мѣстности правильныхъ фигуръ — окружности, эллипса, прямоугольниковъ и треугольниковъ . . . . .	245
132. Опредѣленіе неприступныхъ разстояній, 3 случая. . . . .	247
133. Съёмка экеромъ: координатами и обходомъ. . . . .	251
134. Невязка; причины и уничтоженіе ея параллельными линіями . . . . .	257
135. Обнаруженіе стороны или угла многоугольника, въ которыхъ при съёмкѣ обходомъ сдѣлана грубая ошибка . . . . .	259

## Г Л А В А V.

## Инструменты для графическаго опредѣленія угловъ. Съёмка ими.

§§	<i>Стран.</i>
136. Общее понятіе о мензулѣ, мензульныя доски . . . . .	261
137. Устройство блокъ-мензулы . . . . .	262
138. Устройство мензулы мюнхенской (Рейссига), усовершенство- ваніе сдѣланное Военно-Топографическимъ Отдѣломъ . . . . .	264
139. Устройство мензулы Стефана . . . . .	266
140. Сравнительное достоинство предыдущихъ мензулъ. . . . .	268
141. Повѣрка ихъ . . . . .	269
142. Принадлежности мензулъ: уровень . . . . .	—
143. Видка; устройство, употребленіе и повѣрка; случаи упо- требленія вилки. . . . .	270
144 и 145. Алидада; устройство, употребленіе и повѣрка. . . . .	273
146. Кипрегели: простѣйшій, съ уровнемъ на трубѣ и Глав- наго Штаба; устройство, повѣрка и употребленіе ихъ. . . . .	278
147. Буссоль; устройство, повѣрка и употребленіе . . . . .	292
148. Задачи, рѣшаемыя на мѣстности: ориентированіе мензулы. . . . .	297
149. Построеніе угла. . . . .	300
150. Опредѣленіе точки по двумъ даннымъ — 4 случая, выгод- нѣйшее пересѣченій линій на планшетѣ . . . . .	302
151—155. Опредѣленіе точки по тремъ даннымъ (задача Поте- нота) — основаніе рѣшенія этой задачи, рѣшенія непосред- ственныя и посредственныя: Боненбергера-Бесселя, Гру- нерта, Лемана и Боненбергера, употребленіе при этой задачѣ буссоли; выгоднѣйшіе случаи рѣшенія задачи и сравненіе между собою рѣшеній непосредственныхъ и посредствен- ныхъ, рѣшенія при помощи особаго снаряда и прозрачной бумаги. . . . .	308
156. Мензульная съёмка посредствомъ геометрической сѣти: общее понятіе о триангуляціи . . . . .	327
157. Выборъ и обозначеніе пунктовъ триангуляціи на мѣст- ности . . . . .	328
158. Выборъ и измѣреніе базиса . . . . .	329
159. Построеніе на планшетѣ квадрата; опредѣленіе наибольшаго протяженія по участку, помѣщающемуся внутри квадрата; нанесеніе пунктовъ сѣти на планшетъ, въ случаѣ участка, помѣщающагося внутри квадрата. . . . .	331
160. Нанесеніе пунктовъ сѣти, въ случаѣ участка, не помѣщаю- щагося внутри квадрата. . . . .	335
161. Разбивка общаго мензульнаго листа на частныя, перене- сеніе точекъ сѣти съ общаго листа, составленіе дополни- тельной сѣти. . . . .	337

§§	<i>Стран.</i>
162—165. Съемка контуровъ мензулою, способы: засѣчекъ. . .	344
полярный. . . . .	346
обхода. . . . .	347
промѣровъ съ вѣхи на вѣху. . . . .	350
166. Сравненіе между собою предыдущихъ способовъ и замѣчанія о съемкѣ контуровъ въ общей связи. . . . .	352
167. Мензуральная съемка, основанная на тригонометрической сѣти. . . . .	353
168. Мензуральная съемка разбивкою мѣстности рядами параллельныхъ и перпендикулярныхъ линий, нанесеніе образовавшихся четырехугольниковъ на планшетъ и производство съемки. . . . .	353
169. Съемка полосъ. . . . .	355
170. Повѣрка мензуральной съемки. . . . .	357
171. Достоинства и недостатки ея . . . . .	358

## Г Л А В А VI.

### Выраженіе на планахъ неровностей мѣстности.

172. Общія понятія, различные способы изображенія неровностей. . . . .	359
173. Свойства горизонталей. . . . .	360
174. Отвѣсное разстояніе между сѣкущими плоскостями. . . . .	365
175. Формулы для опредѣленія помощью мензулы и кипрегеля альтитудъ пунктовъ сѣти, станцій и пикетовъ. . . . .	—
176. Вычисленіе этихъ формулъ по таблицѣ, масштабу высотъ * и съ помощью вычислительной линейки Вильда . . . . .	370
177. Проведеніе горизонталей на планѣ . . . . .	382
178. Задачи на горизонтали. . . . .	384
179. Отдѣльныя части неровностей земной поверхности и изображеніе ихъ горизонталями; необходимость подписей высотъ. . . . .	388
180. Недостатки горизонталей . . . . .	390
181. Изображеніе неровностей штрихами, системы: Лемана, Болотова и Военно-Топографическаго Отдѣла. . . . .	391
182. Изображеніе неровностей отмывкою или тушевкою . . . . .	396

## Т а б л и ц ы:

№ I для превращенія стараго дѣленія окружности ( $360^0$ ) въ новое ( $400^g$ ). . . . .	397
№ II для превращенія новаго дѣленія окружности ( $400^g$ ) въ старое ( $360^0$ ). . . . .	398

		<i>Стран.</i>
№ III	длинъ хордъ при радиусѣ равномъ 1000. . . . .	399
№ IV	поправокъ для наклонныхъ линій . . . . .	400
№ V	наибольшей допускаемой разницы между двумя измѣреніями одной и той же линіи цѣпью. . . . .	402
№ VI	поправокъ для дальномѣровъ Эртеля и Порро . . . . .	403
№ VII	для дальномѣра Штампфера . . . . .	404
№ VIII	высотъ пунктовъ земной поверхности. . . . .	409

### О П Е Ч А Т К И.

<i>Стран.</i>	<i>Строка.</i>	<i>Напечатано:</i>	<i>Должно быть:</i>
14	3 сверху	1654 г.	1649 г.
24	12 >	— 120,	— 12, 0
54	7 снизу	поле	полѣ
77	20 сверху	лимба, одинаково	лимба одинаково
155	1 снизу	<i>PDQ''</i>	<i>PD'Q'</i>
185	20 сверху	проекціи измѣреніи	измѣреніи проекціи
194	черт. 189	у окуляра стоитъ <i>c</i>	<i>O</i>
—	3 снизу	<i>a</i>	<i>O</i>
208	—	черт. 158	черт. 200
225	19 сверху	<i>Sm</i> , постоянно то	<i>Sm</i> постоянно, то
254	—	черт. 150	черт. 273
261	7 сверху	Пря	При
279	14 снизу	<i>a b</i>	<i>ab</i>
322	15 >	<i>x</i> и <i>x'</i>	<i>z</i> и <i>z'</i>
361	3 >	такія же, горизонтали	такія же горизонтали
380	7 сверху	въ разѣ	въ 100 разѣ
409	3 >		
		въ графѣ 600 0,62	0,52

## Предварительныя понятія.

---

§ 1. *Геодезія* занимается изслѣдованіемъ и опредѣленіемъ вида и величины всей земли и отдѣльныхъ частей ея поверхности.

Слово *геодезія* означаетъ въ переводѣ *землераздѣленіе*, составляющее только одинъ изъ отдѣловъ разсматриваемой науки. Поэтому ее называютъ также *практическою геометріею* — что вѣрнѣе, такъ какъ *геометрія* означаетъ *землеизмѣреніе* \*).

§ 2. Для достиженія своихъ цѣлей геодезія употребляетъ *измѣренія*. *Измѣрять* значитъ опредѣлить отношеніе между двумя однородными величинами. Если одну изъ нихъ примемъ за единицу, то число, показывающее, сколько разъ она содержится въ другой величинѣ, называется *мѣрой*; напр. 123,56 саж. есть мѣра линіи, которая относится къ сажени, какъ 123,56 къ 1. Въ болѣе тѣсномъ смыслѣ *мѣрой* называется та величина, которая, будучи принята за единицу, служитъ для сравненія съ другими однородными величинами. Число, полученное послѣ сравненія, называется *результатомъ измѣренія*; при чемъ, если измѣряется линія, то результатъ измѣренія будетъ ея *длина*.

Измѣренія бываютъ: *непосредственное* и *посредственное*. Измѣреніе называется *непосредственнымъ* тогда, когда результатъ его получается чрезъ непосредственное сравненіе измѣряемой величины съ единицею мѣры. При *посредственномъ* же измѣреніи результатъ опредѣляется по другимъ извѣстнымъ величинамъ, съ которыми измѣряемая величина

---

\*) *Геодезія* (отъ греч. словъ: *gea* — земля и *daiein* — дѣлать) получила начало свое, по свидѣтельству историковъ, въ Египтѣ. *Боссо* въ своей исторіи математики ссылается на *Геродота*, который въ Оивахъ и Мемфисѣ слышалъ о происхожденіи геодезіи слѣдующее: „царь Сезострисъ раздѣлилъ египетскую землю между своими подданными и каждому изъ нихъ далъ равныя участки въ видѣ квадратовъ, обязавъ ихъ платить ежегодно извѣстную подать. Но если воды Нила размывали и отрывали прибрежныя полосы, то пострадавшіе владѣльцы являлись къ Сезострису и доносили ему о случившемся. Тогда лица, посланныя царемъ, должны были измѣрять и опредѣлить, насколько стало меньше земли у каждаго изъ владѣльцевъ, дабы взыскивать съ нихъ подати соразмѣрно оставшимся частямъ. Я думаю, добавляетъ Геродотъ, что геометрія, или, собственно, землемѣріе, образовалась именно такимъ путемъ и затѣмъ уже была перенесена въ Грецію“. (См. Лекціи по исторіи Практической Геометріи, Вольфа; пер. Н. Афонясева, Москва, 1885 г.)



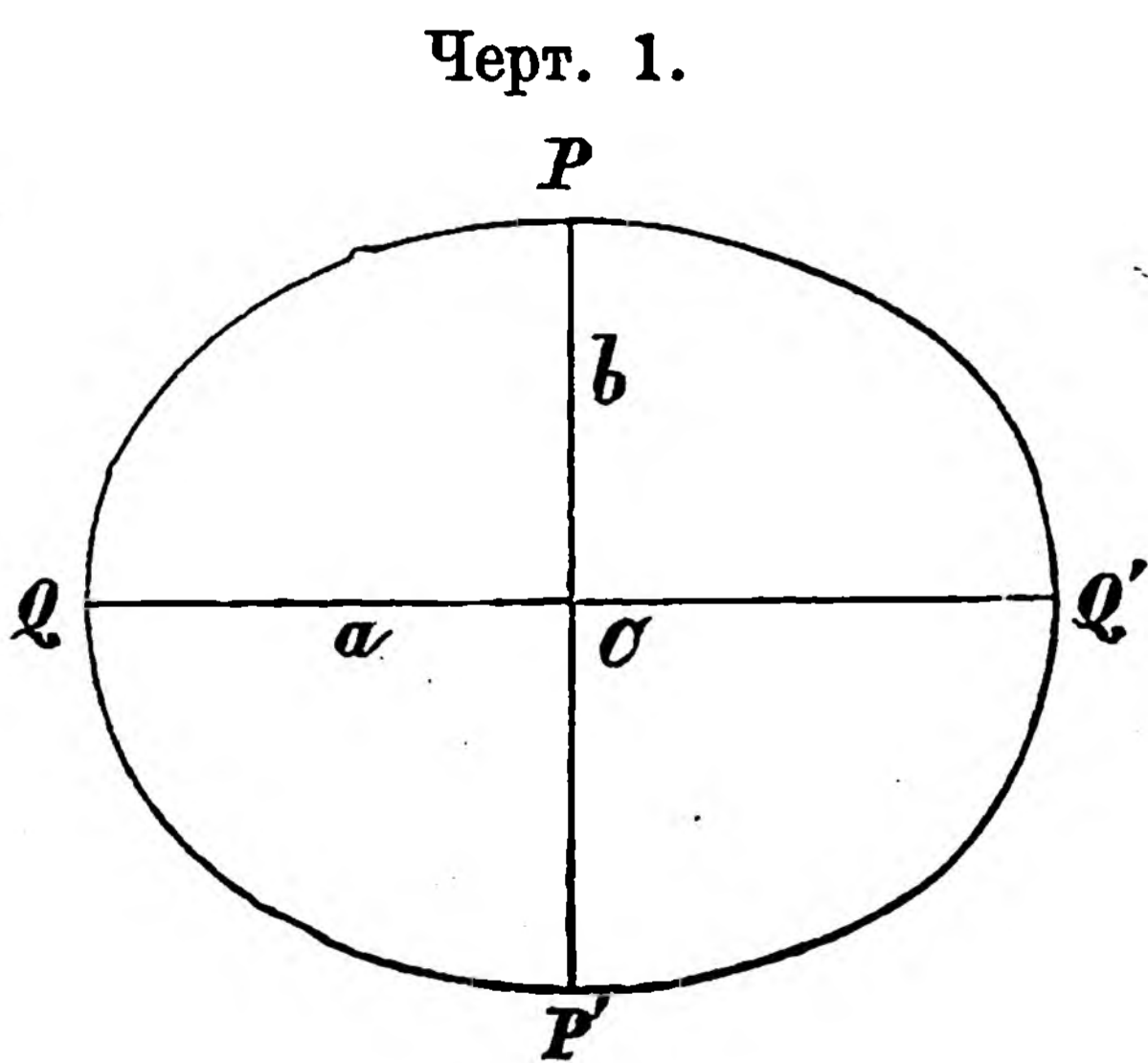
находится въ опредѣленной математической зависимости. Примѣромъ непосредственнаго измѣренія можетъ служить послѣдовательное наложение сажени на измѣряемую линію, а примѣромъ посредственнаго измѣренія служить вычисленіе длины стороны треугольника по даннымъ двумъ другимъ сторонамъ и углу, между ними лежащему.

Къ посредственнымъ измѣреніямъ принадлежатъ также и тѣ, при которыхъ измѣряемая величина *не* однородна съ единицею мѣры, но находится съ нею въ опредѣленной зависимости. Такъ, напр., скорость  $v$  какого-нибудь тѣла выражается путемъ  $s$ , пройденнымъ этимъ тѣломъ въ единицу времени; время измѣряется числомъ размаховъ маятника; температура — числомъ градусовъ термометра; площадь геометрической фигуры опредѣляется по даннымъ длинамъ нѣкоторыхъ линій и проч.

§ 3. Всѣ геодезическія измѣренія производятся на землѣ, вслѣдствіе чего надо дать сначала понятіе о формѣ и размѣрахъ ея поверхности, — иначе, понятіе о видѣ и величинѣ земли.

Изслѣдованіе формы земной поверхности, продолжающееся и по настоящее время, но въ общемъ законченное, принадлежитъ къ труднѣйшимъ вопросамъ геодезической практики. А потому приведемъ здѣсь только результаты этихъ изслѣдованій, предоставивъ будущему ознакомленіе съ путемъ ихъ полученія.

Чтобы дать понятіе о формѣ земли, скажемъ, что поверхность ея,



хотя и неправильная (съ возвышеніями и углубленіями), но въ общемъ подходитъ къ поверхности *эллипсоида вращенія* (*сфероида*), т.-е. такого тѣла, которое происходитъ отъ вращенія эллипсиса около малой оси. Такъ, если возьмемъ эллипсисъ (черт. 1), малая полуось котораго есть  $CP = b$ , а большая полуось  $CQ = a$ , и если заставимъ этотъ эллипсисъ вращаться около малой его оси  $PP'$ , то получимъ тѣло, которое въ отличіе отъ

эллипсоида вращенія, происшедшаго отъ обращенія эллипсиса около большой оси  $QQ'$ , называется *сфероидомъ*. Размѣры сфероида были вычислены въ 1841 г. *Бесселемъ* \*); при чемъ оказалось, что  $a = 2989087$  сажень и  $b = 2979094$  саж. Разность  $\frac{a-b}{a}$ , называемая *сжатіемъ* сфе-

роида и составляющая почти  $\frac{1}{300}$  долю отъ большой оси, есть такая незначительная величина, которая при многихъ геодезическихъ измѣреніяхъ пренебрегается; въ этомъ, слѣд., случаѣ земля рассматривается за шаръ, т.-е. за тѣло неимѣющее сжатія.

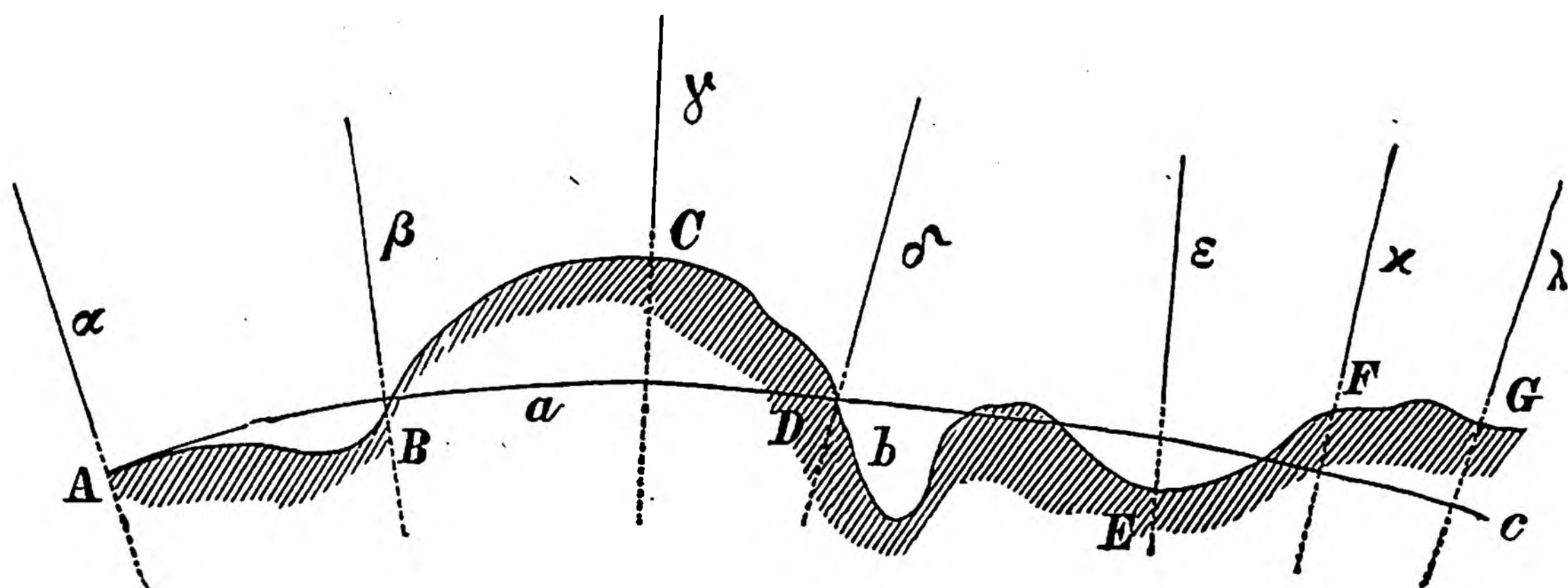
\*) *Ф. В. Бессель*, прусскій астрономъ и геодезистъ, родился въ 1784 г. въ Минденѣ (Ганноверское кор.), а ум. въ 1846 г. въ Кенитсбергѣ.

Дѣлая окончательное заключеніе о видѣ земли, можемъ сказать, что земля есть тѣло, въ общемъ подходящее къ сфероиду, который, въ свою очередь, вслѣдствіе незначительнаго сжатія, разсматривается весьма часто за шаръ. Радиусъ этого шара, вычисленный при томъ предположеніи, что поверхность его равновелика съ поверхностью земнаго сфероида, есть 2985786 саж. или, круглымъ числомъ, 2986000 саж. = = 5972 верстамъ = 6370000 метровъ.

Отвѣсною или вертикальною линіею на землѣ называется такая линія, по направленію которой дѣйствуетъ сила тяжести. Для полученія направленія этой линіи опытнымъ путемъ достаточно прикрѣпить грузъ къ нижнему концу свободно висящей нити, верхній конецъ которой неподвиженъ. Плоскость, проходящая чрезъ отвѣсную линію, называется отвѣсною или вертикальною. Принимая землю за шаръ, всѣ вертикальныя ея сѣченія суть большіе круги.

Болѣе точныя изслѣдованія вида земли показали, что она есть не сферойдъ, а *геоидъ*. Разъясимъ это. Отвѣсныя линіи, взятые на различныхъ точкахъ дѣйствительной или, какъ говорятъ, физической земной поверхности, между собою *не* параллельны. Если на нѣкоторыхъ точкахъ ея  $A, B, C, D, E, F, G$  (черт. 2) вообразимъ отвѣсныя линіи:  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \kappa, \lambda$  и вообразимъ затѣмъ такую поверхность  $Aabc$ , которая, подходя возможно близко къ земной поверхности  $ABCDEFGG$ , пересѣкаетъ отвѣсныя линіи подъ прямыми углами, то она называется *математическою*

Черт. 2.



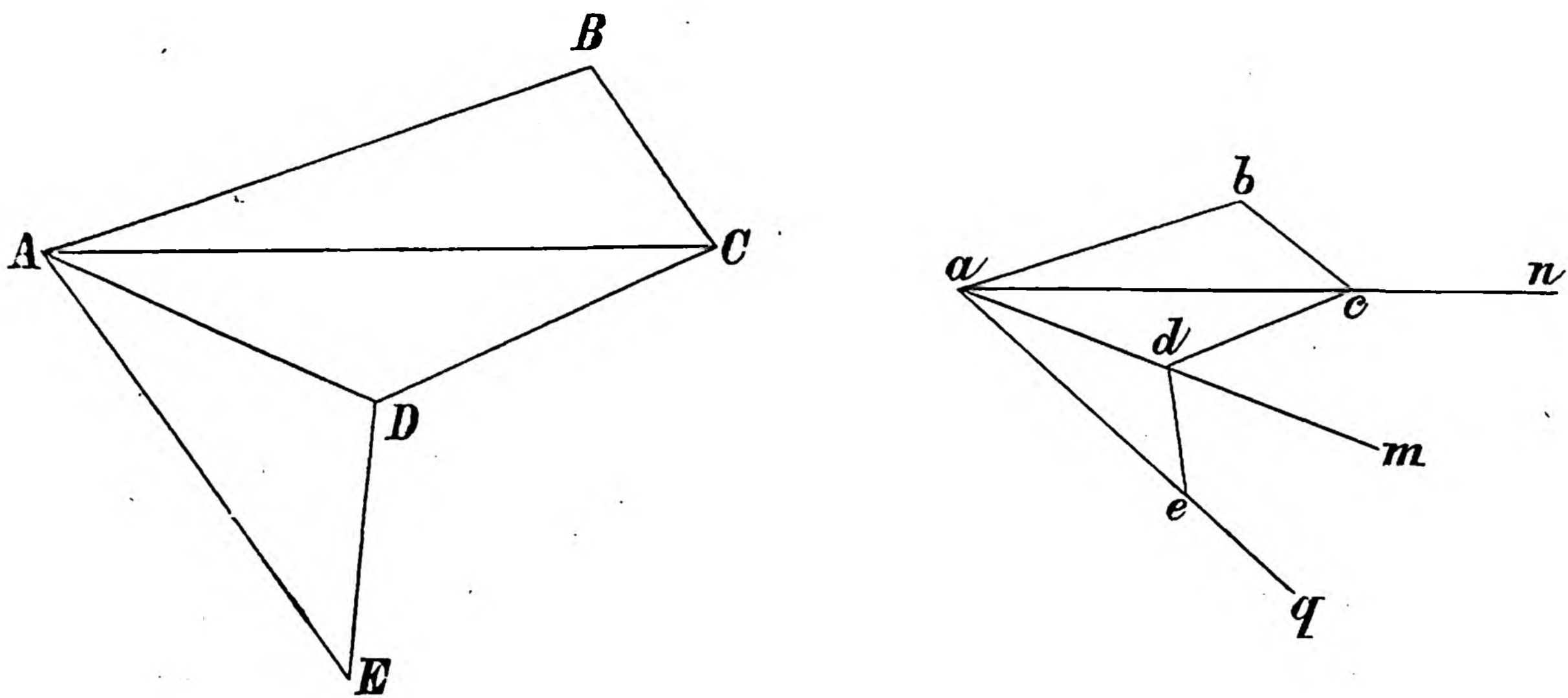
земною поверхностью или поверхностью *геоида*. Слѣдов. *геоидъ* есть такое тѣло, поверхность котораго, возможно близко подходящая къ физической земной поверхности, перпендикулярна къ отвѣснымъ линіямъ, взятымъ на этой послѣдней въ различныхъ ея точкахъ.

Кривизна поверхности сфероида постепенно увеличивается по мѣрѣ удаленія отъ  $P$  къ  $Q$  или отъ  $P'$  къ  $Q'$  (черт. 1), тогда какъ на геоидѣ эта кривизна измѣняется неправильно — то увеличивается, то уменьшается; тѣмъ не менѣе поверхность геоида *всегда* выпукла относительно центра  $C$  и незначительность уклоненія ея отъ поверхности сфероида обнаружена наблюденіями, которыя показали, что уголъ уклоненія отвѣсной линіи къ поверхности геоида отъ отвѣсной линіи къ поверхности сфероида, не достигаетъ, въ изслѣдованныхъ до сихъ поръ мѣстахъ, 1,5 минуты.

§ 4. Если бы земная поверхность была плоскостью, то для опредѣленія относительнаго положенія точекъ ея  $A, B, C, D, E$  (черт. 3) и для изображенія ихъ на какой-нибудь другой плоскости, напр. на бумагѣ, достаточно было бы измѣрить разстоянія:  $AB, AC, AD, AE$  и углы:

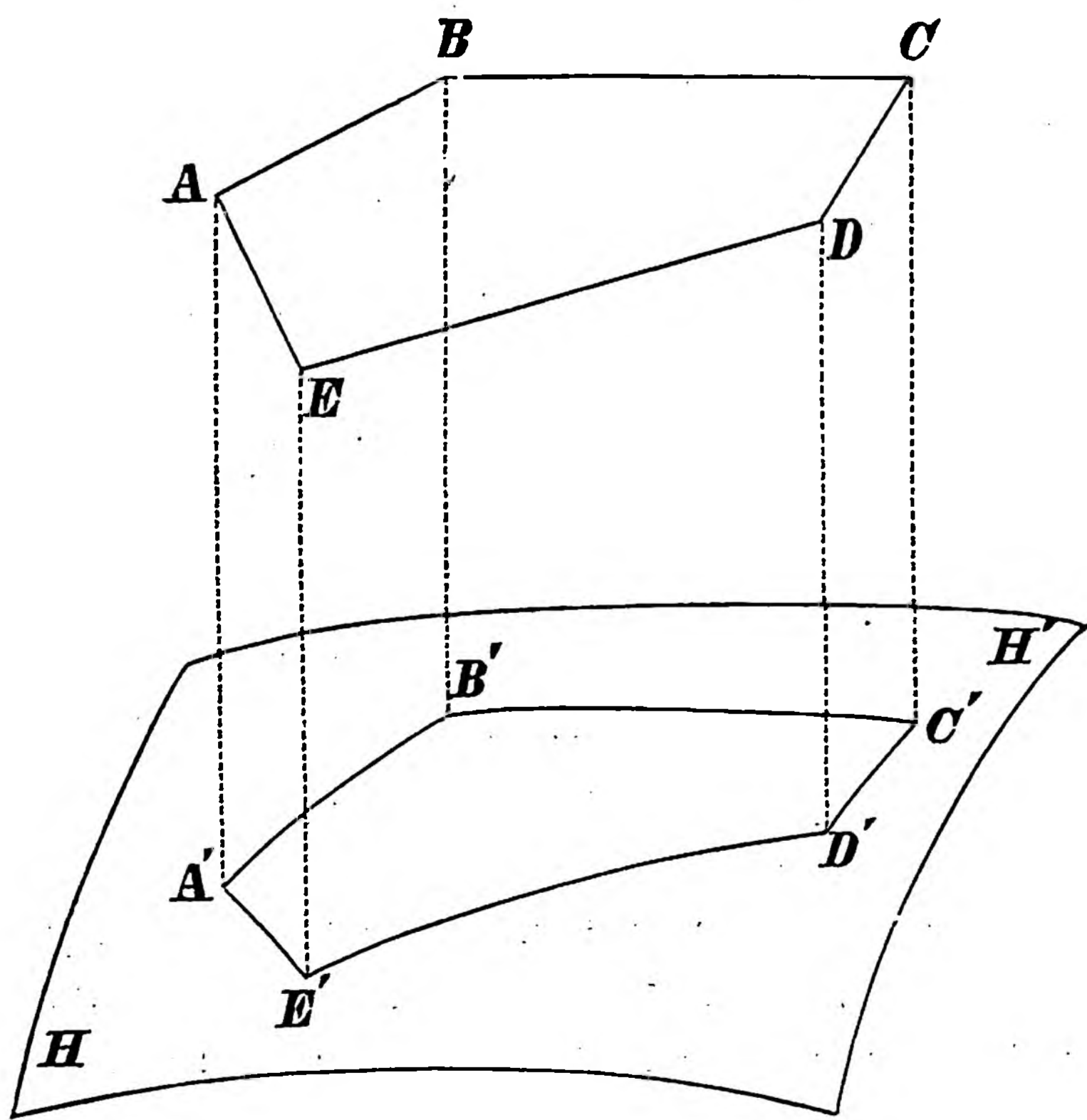
$BAC, CAD, DAE$ , потому что тогда, проведя на бумагѣ линію  $ab$ , представляющую собою линію  $AB$  мѣстности, уменьшенную въ известное число разъ, послѣ чего, построивъ при точкѣ  $a$  послѣдовательно углы:  $ban, nam, maq$ , соотвѣтственно равные угламъ  $BAC, CAD, DAE$  и отложивъ, наконецъ, на линіяхъ:  $an, am, aq$  длины  $ac, ad, ae$ , равныя соотвѣтственно линіямъ:  $AC, AD, AE$  мѣстности, умень-

Черт. 3.



шеннымъ во столько же разъ, во сколько уменьшена линія  $AB$ , получимъ на бумагѣ фигуру  $abcde$ , подобную фигурѣ  $ABCDE$  мѣстности.

Черт. 4.



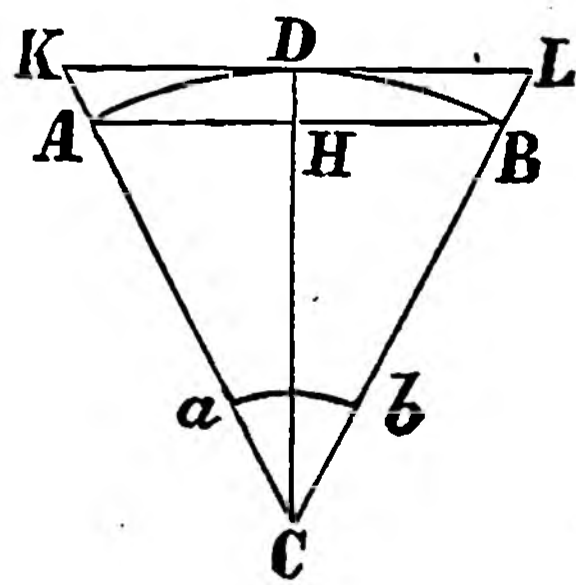
И слѣдоват. точки:  $a, b, c, d, e$  будутъ имѣть на бумагѣ то же относительное расположеніе, что и точки:  $A, B, C, D, E$ , на земной поверхности. Но такъ какъ земная поверхность не есть плоскость, и точки  $A, B, C, D, E$ , взятая по три, лежатъ, вообще говоря, вслѣдствіе неровностей ея, въ разныхъ плоскостяхъ, то, поступая по предыдущему, мы не получимъ на бумагѣ фигуру, подобную фигурѣ мѣстности. Дѣйствительно, если точки:  $A, B, C, D, E$ , взятая по три, лежатъ въ разныхъ плоскостяхъ, то сумма угловъ  $BAC, CAD, DAE$  не равна углу  $BAE$ , между тѣмъ на бумагѣ уг.  $bac + \text{уг. } cad + \text{уг. } dae = \text{уг. } bae$ . А потому, вслѣдствіе неровностей земной поверхности, нельзя на бумагѣ построить фигуру, подобную фигурѣ, находящейся на мѣстности. Въ геодезіи ограничиваются по необходимости тѣмъ, что изображаютъ на бумагѣ не самыя очертанія земныхъ предметовъ, называемыя ихъ контурами, а горизонтальныя проложенія этихъ послѣднихъ.

§ 5. Если представимъ себѣ, что чрезъ какую-нибудь точку земли проходитъ такая поверхность, которая параллельна поверхности воды какого-нибудь водохранилища, находящейся въ равновѣсіи, то эта поверхность, принимаемая за сферическую въ тѣхъ случаяхъ, когда земля разсматривается за шаръ, называется *горизонтальною*. Вообразимъ затѣмъ, что изъ точекъ контура, находящагося на мѣстности, проведены отвѣсныя линіи до пересѣченія съ горизонтальною поверхностью, проходящею чрезъ какую-нибудь точку земли, и предположивъ, что эти точки пересѣченія соединены между собою линіями въ той же послѣдовательности, какъ и на землѣ, получимъ на горизонтальной поверхности изображеніе контура, называемое *сферическимъ горизонтальнымъ* его *проложениемъ* или *проекціею*. Такъ напр., если чрезъ вершины контура  $ABCDE$  (черт. 4) проведены отвѣсныя линіи  $AA'$ ,  $BB'$ ,  $CC'$ ,  $DD'$ ,  $EE'$ , пересѣкающія горизонтальную поверхность  $HH'$  въ точкахъ  $A'$ ,  $B'$ ,  $C'$ ,  $D'$ ,  $E'$ , то фигура  $A'B'C'D'E'$  есть сферическая горизонтальная проекція фигуры  $ABCDE$  мѣстности.

§ 6. Полученное такимъ образомъ горизонтальное проложение контура мѣстности не можетъ быть все-таки же изображено на плоскости, потому что оно есть часть сферической поверхности, которая не можетъ быть *развернута* на плоскости. Тѣмъ не менѣе, вслѣдствіе значительной величины земнаго радіуса и происходящей отъ того незначительной кривизны горизонтальной поверхности, можно во многихъ случаяхъ часть этой поверхности замѣнять частью плоскости, касающейся поверхности въ нѣкоторой точкѣ, лежащей приблизительно въ срединѣ горизонтальнаго проложения контура.

Чтобы узнать — какъ велико протяженіе той части горизонтальной поверхности, которая можетъ быть принята за часть плоскости, разсмотримъ слѣдующее: пусть  $ADB$  (черт. 5) есть сферическая поверхность, представляющая горизонтальное проложение нѣкоторой части земной поверхности, а  $KDL$  есть касательная къ ней плоскость, называемая *горизонтальною*. Если эту поверхность и горизонтальную плоскость разсѣчемъ отвѣсною плоскостью, проходящею чрезъ  $D$ , то при сѣченіи ея съ горизонтальною сферическою поверхностью получимъ дугу  $ADB$  большаго круга, представляющую *сферическое горизонтальное проложение* линіи земной поверхности, а при сѣченіи отвѣсной плоскости съ горизонтальною получимъ прямую  $KL$  — *плоское горизонтальное проложение* той же линіи земной поверхности. Вопросъ состоитъ въ томъ, чтобы опредѣлить разность между длиною прямой линіи  $KL$  и длиною дуги  $ADB$ . Если обозначимъ чрезъ  $R$  радіусъ  $AC = DC = BC$  земли, чрезъ  $\alpha$  — половину дуги  $ab$ , описанной изъ центра  $C$  радіусомъ  $= 1$ , чрезъ  $d$  — длину дуги  $ADB$  и чрезъ  $t$  — длину  $KL$  касательной, то будемъ имѣть:

Черт. 5.



$$\alpha = \frac{d}{2R} \quad (\alpha)$$

$$DL = \frac{1}{2} t = R \operatorname{tg} \alpha$$

или 
$$t = 2 R \operatorname{tg} \alpha. \quad (t)$$

Съ другой стороны извѣстно, что

$$\operatorname{tg} \alpha = \alpha + \frac{\alpha^3}{3} + \frac{2\alpha^5}{15} + \dots$$

Подставляя сюда формулу ( $\alpha$ ), получимъ:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d}{2R} + \frac{d^3}{3 \cdot 2^3 \cdot R^3} + \frac{2d^5}{15 \cdot 2^5 \cdot R^5} + \dots$$

Вслѣдствіе чего ( $t$ ) обратится въ

$$t = d + \frac{d^3}{3 \cdot 2^2 \cdot R^2} + \frac{2d^5}{15 \cdot 2^4 \cdot R^4} + \dots$$

или

$$t - d = \frac{d^3}{12 R^2} + \frac{2d^5}{240 R^4} + \dots$$

При измѣреніи линій на мѣстности ограничиваются, въ громадномъ большинствѣ случаевъ, сотыми долями сажени; изъ числовыхъ же вычисленій предыдущей формулы видно, что при  $d$ , равномъ отъ 0 до 300 верстъ, членъ  $\frac{2d^5}{240 R^4}$ , а также и члены, слѣдующіе за нимъ, менѣе 0,01 сажени. Вслѣдствіе чего

$$t - d = \frac{d^3}{12 R^2}.$$

Откуда

$$d = \sqrt[3]{12 (t - d) R^2}.$$

По этой формулѣ можно вычислить тотъ высшій предѣлъ для разстоянія  $d$ , при которомъ разность между сферическимъ и плоскимъ проложеніями разстоянія, т. е.  $t - d$ , равна 0,01 сажени. Въ самомъ дѣлѣ

$$\lg 12 \quad 1,07918$$

$$\lg (t - d) \quad 8,00000$$

$$\lg R^2 \quad 2,95010$$

$$\hline 2,02928 + 10$$

$$d = 10227,2 \text{ саж. или почти } 20\frac{1}{2} \text{ верстъ.}$$

Слѣдовательно, наибольшая длина дуги сферическаго горизонтальнаго проложенія, которую можно принимать за прямую линію, не сдѣлавъ при этомъ ошибки, достигающей 0,01 сажени, есть 20 верстъ.

Можно показать, что эта предѣльная длина (20 верстъ) удовлетворяетъ не только разстояніямъ на землѣ, но и угламъ. Дѣйствительно, положимъ, что на шарѣ съ радіусомъ, равнымъ радіусу земли, имѣемъ сферическій треугольникъ. Сумма всѣхъ 3 угловъ его равна, какъ извѣстно изъ сферической тригонометріи,  $180^\circ + \varepsilon$  (эксцессъ); при чемъ  $\varepsilon$  выражается слѣдующею формулою *Люилле*:

$$\operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{4} = \sqrt{\operatorname{tg} \frac{s}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{s-a}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{s-b}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{s-c}{2}},$$

гдѣ  $a, b, c$  суть стороны даннаго сферическаго треугольника, а  $s = \frac{a+b+c}{2}$ .

Въ геодезіи приходится имѣть дѣло съ такими сферическими треугольниками, стороны которыхъ рѣдко превышаютъ  $1^\circ$ ; вслѣдствіе чего можно принять тангенсы ихъ равными соотвѣтственнымъ дугамъ при радіусѣ  $= 1$ , такъ что, обозначивъ радіусъ земли чрезъ  $R$ , имѣемъ:

$$\operatorname{tg} \frac{s}{2} = \frac{s}{2R}, \operatorname{tg} \frac{s-a}{2} = \frac{s-a}{2R}, \operatorname{tg} \frac{s-b}{2} = \frac{s-b}{2R}, \operatorname{tg} \frac{s-c}{2} = \frac{s-c}{2R}.$$

Слѣдовательно

$$\operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{4} = \frac{\sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}}{4R^2}.$$

Градусная величина  $\varepsilon$  для сферическаго треугольника со сторонами въ  $1^\circ$ , вычисленная по формулѣ Люилле, менѣе  $30''$  (а именно  $= 27'',21$ ); поэтому, принимая, что  $\operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{4} = \frac{\varepsilon''}{4} \sin 1''$ , получимъ

$$\varepsilon = \frac{\sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}}{R^2 \sin 1''}.$$

Но  $\sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}$  есть площадь плоскаго треугольника со сторонами, равными по длинѣ сторонамъ сферическаго треугольника; а потому, если площадь плоскаго треугольника обозначимъ чрезъ  $P$ , то

$$\varepsilon = \frac{P}{R^2 \sin 1''}.$$

Это и есть формула, употребляющаяся въ геодезіи для вычисленія эксцеса  $\varepsilon$ .

Если теперь зададимся вопросомъ — опредѣлить размѣръ такого сферическаго треугольника, который можно было бы, съ достаточною точностью, разсматривать за плоскій, то, разумѣется, сумма угловъ его должна возможно меньше отличаться отъ суммы угловъ плоскаго треугольника, т. е. отъ  $180^\circ$ . Опредѣлимъ размѣры равносторонняго сферическаго треугольника для котораго  $\varepsilon = 1''$ ; при чемъ воспользуемся предыдущею формулою, которая для настоящаго случая будетъ

$$1'' = \frac{P}{R^2 \sin 1''}.$$

Но  $P$  для равносторонняго треугольника со сторонами  $= a$  выражается формулою

$$P = \frac{\sqrt{3}}{4} a^2; \text{ поэтому}$$

$$a = \frac{2\sqrt{P}}{\sqrt{3}} = \frac{2R\sqrt{\sin 1''}}{\sqrt{3}}.$$

Поставивъ сюда числовыя величины и произведя вычисленіе, получимъ  $a = 9990,5$  саж. или почти 20 верстъ, что согласуется съ такою длиною дуги сферическаго горизонтальнаго проложенія, которая отличается отъ длины соотвѣтственной касательной менѣе чѣмъ на 0,01 сажени.

На основаніи этого, горизонтальное проложеніе такого контура земной поверхности принимаютъ плоскимъ, наибольшее протяженіе по ко-

торому не превышает 20 верстъ. При измѣреніяхъ менѣе точныхъ этотъ предѣлъ увеличивается до 100 верстъ<sup>1)</sup>.

Чтобы получить понятіе о величинѣ площади участка, разсматриваемаго за часть плоскости, вычислимъ площадь круга съ радіусомъ въ 10 верстъ. Эта площадь  $= \pi \cdot 10^2 = \frac{22}{7} \times 100 = 314,3$  квадр. версты.

Въ послѣдствіи увидимъ, что площади контуровъ земной поверхности измѣряются *десятинами*, а одна квадратная верста  $= 104$  съ небольшимъ десятинамъ; поэтому 314,3 кв. версты  $= 31687$  съ лишкомъ десятиныхъ или, круглымъ числомъ, 32000 десятиныхъ.

И такъ, изъ сказаннаго въ этомъ параграфѣ видно, что *сферическое горизонтальное проложеніе участка земной поверхности, не превышающее по площади 32000 десятиныхъ и имѣющее протяженіе не свыше 20 верстъ, можно разсматривать за часть плоскости.*

Дѣлая это допущеніе, мы въ то же время принимаемъ, что отвѣсныя линіи точекъ земной поверхности, отстоящихъ другъ отъ друга не далѣе 20 верстъ, суть линіи между собою параллельныя.

§ 7. Такъ какъ *большая* часть физической земной поверхности мало уклоняется отъ поверхности горизонтальной, то проекціи контуровъ мѣстности на горизонтальную поверхность претерпѣваютъ, говоря вообще, меньшее измѣненіе въ площади, чѣмъ проекціи ихъ на какую-нибудь другую поверхность, не горизонтальную. Въ частномъ случаѣ, и именно въ предѣлахъ нижней геодезіи, проектированіе контуровъ производится на горизонтальную плоскость. Хотя при этомъ и измѣнится площадь контура, тѣмъ не менѣе это не можетъ имѣть значенія для землевладѣльца, такъ какъ изъ опыта обнаружено, что растенія располагаются перпендикулярно не къ наклонной плоскости, а отвѣсно; вслѣдствіе чего на наклонной плоскости при одинаковыхъ другихъ обстоятельствахъ не можетъ развиваться большее количество растеній, чѣмъ на соотвѣтственной плоскости горизонтальной.

Покажемъ — какъ получить *плоское* горизонтальное проложеніе контура мѣстности. Разсмотримъ сначала, для простоты, *прямолинейный* контуръ  $ABCDE$  (черт. 6). Изъ вершинъ его опустимъ перпендикуляры на нѣкоторую горизонтальную плоскость  $MN$ . Точки  $a, b, c, d, e$  пересѣченія этихъ перпендикуляровъ съ горизонтальною плоскостью, суть проекціи соотвѣтственныхъ точекъ мѣстности. Соединивъ ихъ въ томъ же порядкѣ, какъ и соотвѣтственныя точки мѣстности, получимъ на плоскости  $MN$  фигуру  $abcde$ , представляющую *плоское горизонтальное проложеніе* контура  $ABCDE$  мѣстности; при чемъ линіи  $ab, bc, \dots, ea$  суть горизонтальныя проекціи соотвѣтственныхъ линій  $AB, BC, \dots, EA$

<sup>1)</sup> Замѣтимъ здѣсь, между прочимъ, что если вычислить  $2\alpha$ , соотвѣтствующее  $d = 20$  верстамъ, по формулѣ  $(\alpha)$ , а затѣмъ уголъ  $ACB$ , то получимъ

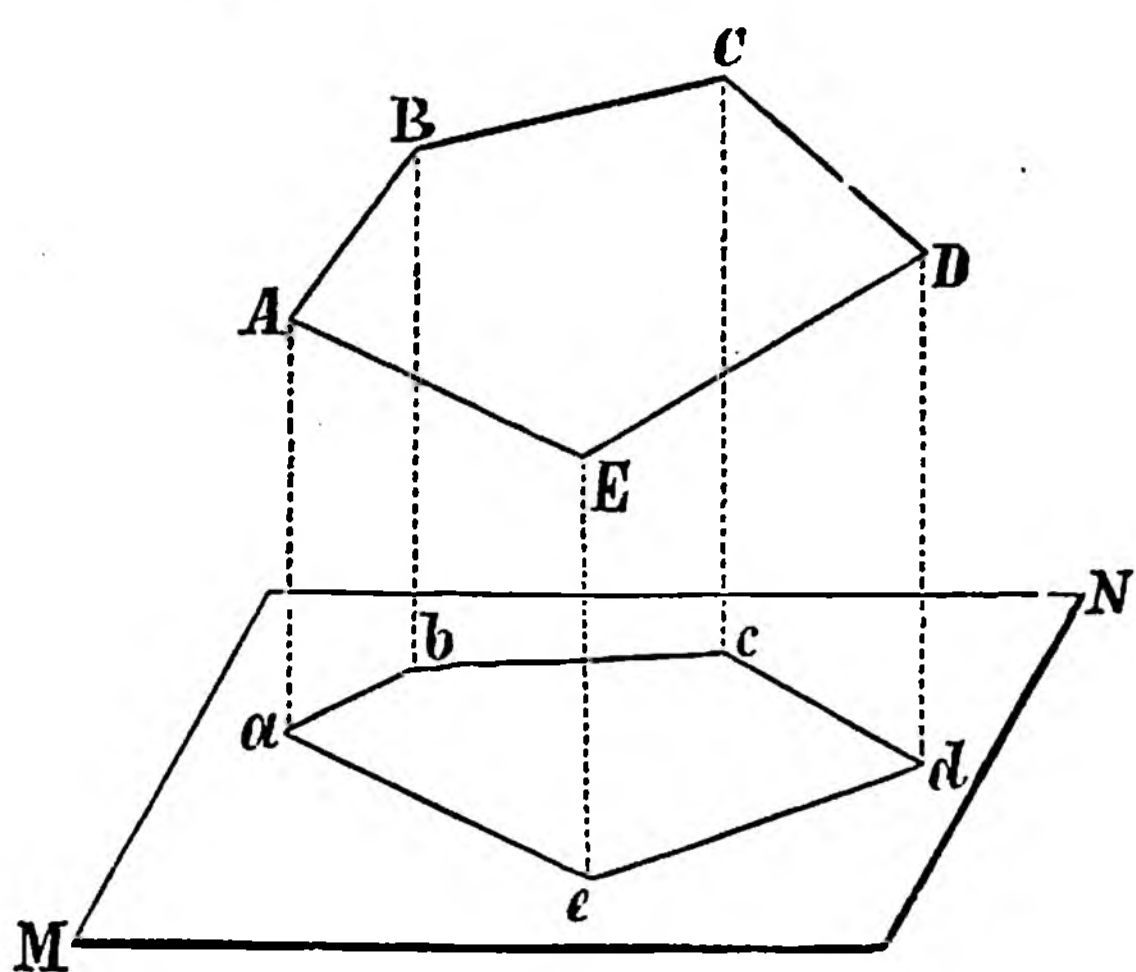
$$\text{уг. } ACB = 0^\circ 11' 31''.$$

Поступая обратнымъ путемъ найдемъ, что углу  $ACB$ , равному  $1^\circ$ , соотвѣтствуетъ  $d = 104,2$  версты; иначе, *длина дуги въ  $1^\circ$  большого круга на землѣ  $= 104,2$  версты.*

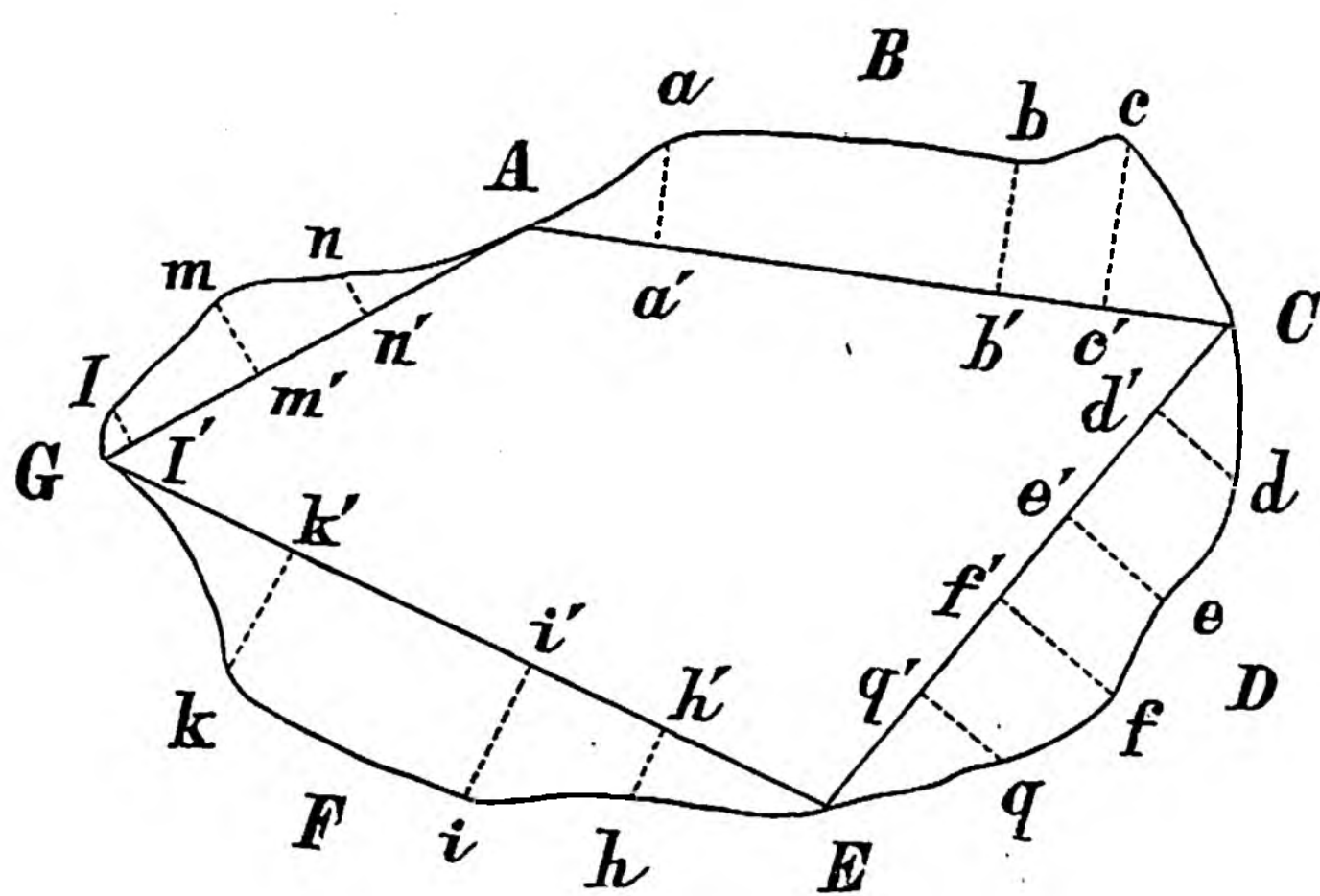
мѣстности, а углы  $eaб$ ,  $abc$ , . . . . — горизонтальныя проекціи соответственныхъ угловъ  $EAB$ ,  $ABC$ , . . . .

Чтобы получить изображеніе контура  $abcde$  на бумагѣ, надо построить на ней фигуру подобную въ уменьшенномъ видѣ; а для этого достаточно знать длины линий  $ab$ ,  $bc$ , . . . . и углы  $eaб$ ,  $abc$ , . . . . Но такъ какъ эти величины суть горизонтальныя проложенія соответственныхъ величинъ мѣстности, то заключаемъ, что для построения на бумагѣ фигуры, подобной горизонтальному проложенію прямолинейнаго контура мѣстности, надо умѣть опредѣлять: во 1) горизонтальныя проекціи длинъ линий, измѣренныхъ на мѣстности, и во 2) горизонтальныя проложенія угловъ, образуемыхъ этими линиями.

Черт. 6.



Черт. 7.

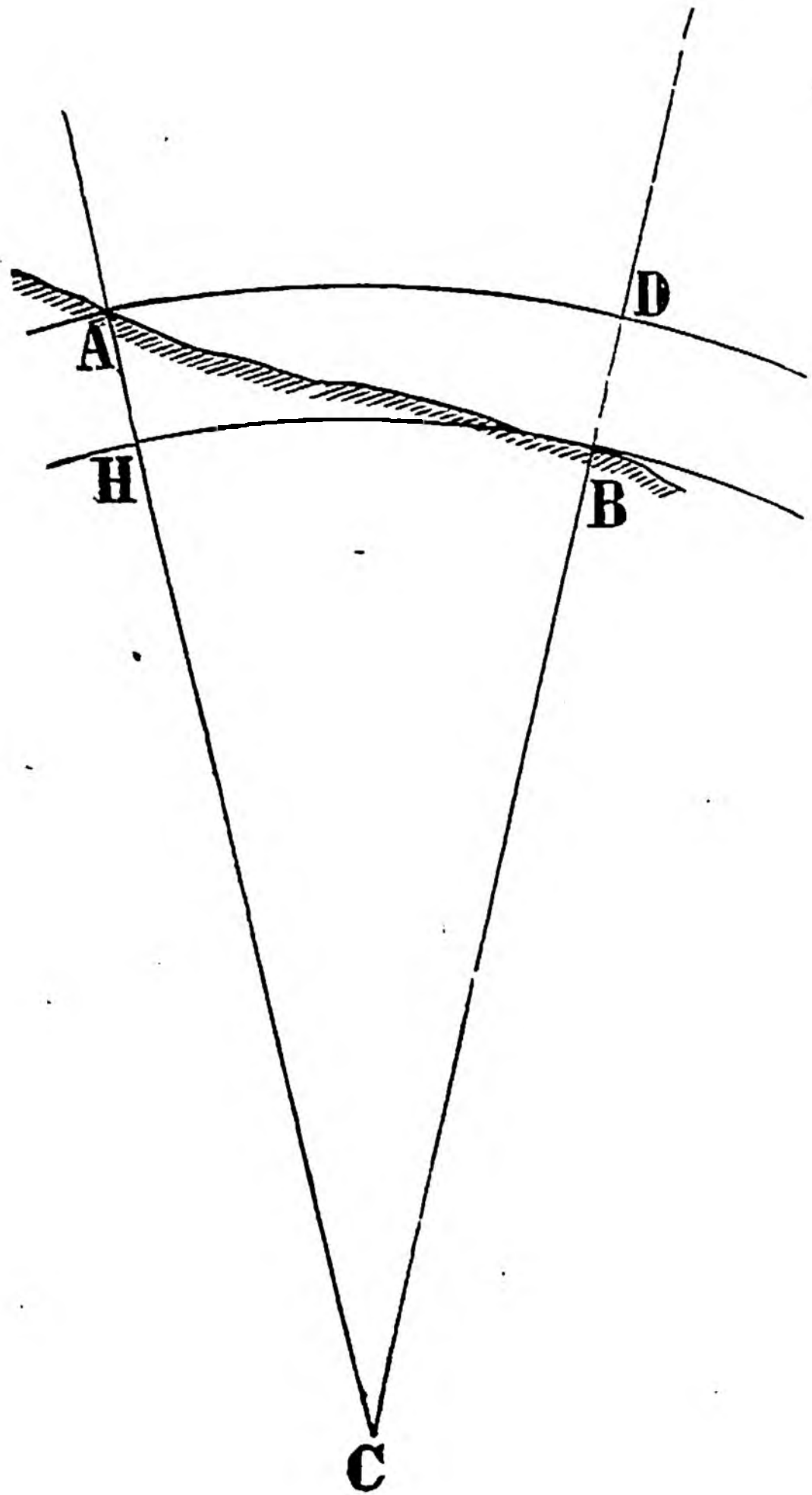


Знаніе тѣхъ же величинъ достаточно и для изображенія на бумагѣ *криволинейнаго* контура мѣстности, какъ напр.  $ABCDEFG$  (черт. 7). Въ этомъ случаѣ можно поступать такъ: выбравъ на контурѣ точки  $A$ ,  $C$ ,  $E$ ,  $G$  и вообразивъ ихъ соединенными между собою прямыми линиями, получаютъ на мѣстности многоугольникъ  $ACEG$ . Если, послѣ этого, опредѣлить горизонтальное проложеніе линий  $AC$ ,  $CE$ ,  $EG$  и  $GA$  а также и горизонтальныя проложенія угловъ  $ACE$ ,  $CEG$ ,  $EGA$  и  $GAC$  то по нимъ можно будетъ, какъ мы видѣли, построить на бумагѣ многоугольникъ подобный. Чтобы нанести теперь на бумагу самый криволинейный контуръ относительно сторонъ построеннаго многоугольника, контуръ разбивается на такія мелкія части:  $Aa$ ,  $ab$ ,  $bc$ ,  $cC$ ,  $Cd$ , . . . ., которыя можно принимать за прямыя линии; затѣмъ, опустивъ перпендикуляры:  $aa'$ ,  $bb'$ ,  $cc'$ ,  $dd'$ , . . . . на стороны  $AC$ ,  $CE$ , . . . . опредѣляютъ, какъ горизонтальныя проложенія этихъ перпендикуляровъ (*ординатъ*), такъ и горизонтальныя проложенія длинъ:  $Aa'$ ,  $Ab'$ ,  $Ac'$ ,  $Cd'$ , . . . . (*абсцисъ*). Имѣя ординаты и абсцисы, наносятъ точки криволинейнаго контура относительно сторонъ имѣющагося на бумагѣ многоугольника; при чемъ каждая изъ нихъ уменьшается во столько же разъ, во сколько уменьшены и стороны. Если, наконецъ, соединить концы ординатъ въ той же послѣдовательности, какъ и на земной поверхности, то получается на бумагѣ плоское горизонтальное проложеніе криволинейнаго контура  $ABCDEFGA$  мѣстности.



§ 8. Горизонтальное проложеніе контура мѣстности хотя и *необходимо* для опредѣленія относительнаго расположенія точекъ ея, тѣмъ не менѣе оно *недостаточно*. Для полнаго опредѣленія относительнаго положенія точекъ земной поверхности нужно еще имѣть такъ-называемыя *относительныя высоты* ихъ. *Относительною* высотой двухъ точекъ земной поверхности называется превышеніе или пониженіе одной изъ нихъ надъ горизонтальною поверхностью, проведенною чрезъ другую точку; такъ напр., если *A* и *B* (черт. 8) суть точки земной поверхности, то, проведя чрезъ нихъ горизонтальныя поверхности *AD* и *BH* и отвѣсныя линіи, величина  $AN = DV$  будетъ *относительная высота* точки *A* надъ *B*. Относительная высота двухъ точекъ есть вмѣстѣ съ тѣмъ отвѣсное или вертикальное разстояніе ихъ.

Черт. 8.



§ 9. И такъ, для полнаго опредѣленія относительнаго положенія точекъ земной поверхности необходимо и достаточно знать какъ горизонтальныя ихъ проложенія, такъ и относительныя высоты.

Тѣ дѣйствія, которыя нужно произвести на мѣстности для опредѣленія относительнаго положенія точекъ, а слѣдов. и линій, называются *съемкою*. Съемка бываетъ: *горизонтальная*, если положеніе точекъ опредѣляется на горизонтальной плоскости, и *вертикальная*, если положеніе ихъ опредѣляется въ плоскости вертикальной. Кромѣ того, съемки, смотря по цѣли, для которой онѣ предпринимаются, раздѣляются: на *кадастровыя*<sup>1)</sup> и *топографическія*. При съемкахъ кадастровыхъ, имѣющихъ цѣлью опредѣленіе стоимости или доходности отдѣльныхъ контуровъ мѣстности, главнѣйшее значеніе имѣетъ точное опредѣленіе площадей этихъ контуровъ съ тѣми подробностями, которыя оказываютъ вліяніе на доходность, каковы напр. границы контура, каналы, раздѣльныя линіи; а при съемкахъ топографическихъ — самое важное выразить характеръ мѣстности: общее очертаніе контуровъ, болота, воды, пески, дороги, покатости и т. п.

<sup>1)</sup> *Кадастромъ* вообще называется предварительное описаніе и оцѣнка тѣхъ предметовъ, которые подлежатъ обложенію податью. Въ частномъ случаѣ, *земельнымъ кадастромъ* наз. предварительная съемка и оцѣнка земель съ цѣлью обложенія ихъ податью. Въ Россіи еще не существуетъ повсемѣстнаго точнаго земельного кадастра, тѣмъ не менѣе весьма часто производится *хозяйственная* съемка отдѣльныхъ владѣній, которая ничѣмъ не отличается отъ съемки, имѣющей въ виду оцѣнку земель; а потому въ послѣдующемъ будемъ понимать подъ кадастровою съемкою съемку хозяйственную.

Самое слово *кадастръ* перешло въ новѣйшіе языки отъ римлянъ. По римской терминологіи слово *caput* означаетъ податную единицу, которымъ велись особые списки — *capitumregistri*. Отсюда дальнѣйшая этимологическая фаза — *capidastrum* и наконецъ франц. слово *cadastre*.

При всякаго рода съемкахъ надо держаться слѣдующаго основнаго правила: *порядокъ производства съемки долженъ быть таковъ, чтобы работа переходила постепенно отъ общаго къ частному*, потому что только тогда работы предыдущія могутъ съ успѣхомъ служить основаніемъ для работъ послѣдующихъ и средствомъ постояннаго контроля. Вслѣдствіе этого, всякой съемкѣ должно предшествовать возможно точное опредѣленіе относительнаго положенія нѣкоторой системы *главныхъ* точекъ, которыя будутъ служить основаніемъ для съемки подробностей мѣстности; при чемъ нужно начинать съемку всегда или съ главной точки, или съ какой-нибудь точки, ранѣе опредѣленной, и оканчивать при точкѣ также опредѣленной.

§ 10. Геодезія раздѣляется на *низшую и высшую*. *Низшая геодезія*, иногда называемая *топографіею*<sup>1)</sup>, занимается: во 1) измѣреніемъ и изображеніемъ частей земной поверхности, горизонтальныя проложенія которыхъ принимаются за части плоскости, и во 2) измѣреніемъ и изображеніемъ относительныхъ высотъ точекъ земной поверхности; а *высшая геодезія* имѣетъ своимъ предметомъ: во 1) измѣреніе и изображеніе частей земной поверхности, горизонтальныя проложенія которыхъ должны быть разсматриваемы за поверхности сферическія или сфероидическія, и во 2) изслѣдованіе вида и величины земли.

Кромѣ этого, геодезію раздѣляютъ иногда также на *плоскую, сферическую, сфероидическую и геоидическую*. Геодезія плоская и часть сферической имѣютъ предметомъ изученія то же, что и геодезія низшая.

§ 11. Сферическая поверхность не можетъ быть, какъ уже сказано, *развернута* на плоскости. Но съ другой стороны, въ высшей геодезіи разсматриваются части сферической и сфероидической поверхности; поэтому, при изображеніи ихъ на бумагѣ, прибѣгаютъ къ искусственнымъ приѣмамъ, удовлетворяющимъ заранѣе выраженнымъ условіямъ и результатомъ примѣненія которыхъ является *карта*. Слѣдовательно, *карта* есть такое изображеніе на плоскости всей земной поверхности или части ея, при которомъ принята во вниманіе кривизна горизонтальнаго проложенія этой поверхности. *Планомъ* же называется изображеніе на плоскости, напр. бумагѣ, такой части земной поверхности, горизонтальное проложеніе которой было принимаемо за плоскость. Другими словами, *карта* есть результатъ дѣйствій, излагаемыхъ въ Высшей геодезіи, а *планъ* — результатъ съемокъ, основанныхъ на дѣйствіяхъ Низшей геодезіи.

Если на планѣ, кромѣ горизонтальной съемки, показаны и относительныя высоты точекъ, то онъ называется *нивеллирнымъ*<sup>2)</sup>; если же на плоскости изображенъ въ уменьшенномъ видѣ разрѣзъ земной поверхности вертикальною плоскостью, то такое построеніе называется *профилемъ*.

1) Отъ греч. словъ: *topos* — мѣсто и *graphein* — писать, описывать.

2) Отъ франц. слова *niveau* — уровень, горизонтальная плоскость.

Планы, смотря по цѣли, съ которою произведена съемка, бываютъ: *межевые, лѣсные, хозяйственные, военные, гидротехническіе* и т. п. Если съемка произведена съ цѣлью особенно точнаго опредѣленія границъ владѣній, то составленный при этомъ планъ называется *межевымъ*. Если съемка произведена съ цѣлью точнаго опредѣленія границъ лѣса, съ указаніемъ его породы, густоты насажденія, возраста и т. п., то планъ называется *лѣснымъ*. На планѣ *хозяйственномъ* должны быть нанесены или указаны всѣ предметы, важные въ сельско-хозяйственномъ отношеніи; напр. пашня — съ указаніемъ сѣвооборотовъ и раздѣленіемъ ея на десятины; лугъ — съ указаніемъ его качества: поемный, сухой или мокрый; лѣсъ — съ указаніемъ его породы. На *военномъ* планѣ должны быть нанесены или обозначены всѣ предметы, вліяющіе на расположеніе, движеніе и дѣйствіе войскъ, какъ-то: селенія — съ числомъ имѣющихся въ нихъ дворовъ, дороги, тропинки, мосты, броды, неровности мѣстности и т. п. На *гидротехническомъ* планѣ наносятся особенно точно берега рѣкъ и озеръ, съ указаніемъ ихъ глубины, способности къ судоходству, быстроты теченія, острововъ, отмелей и т. п.

§ 12. Въ геодезіи употребляются двоякаго рода инструменты: во 1-хъ инструменты, необходимые для производства съемокъ на мѣстности, и во 2-хъ инструменты для составленія плановъ и картъ; первые называются *полевыми*, а вторые — *чертежными*. Какъ тѣ, такъ и другіе должны удовлетворять нѣкоторымъ условіямъ, и только при соблюденіи ихъ они могутъ давать удовлетворительные результаты; а потому, передъ употребленіемъ каждаго инструмента, надо удостовѣриться въ томъ, что всѣ требуемыя отъ него условія выполнены или, иначе, надо произвести *повѣрки* инструмента.

### Единицы мѣры, употребляющіяся въ геодезіи.

§ 13. До тѣхъ поръ, пока положеніе предмета не измѣняется относительно наблюдателя, при измѣреніи достаточны единицы мѣры для угловъ, линій, площадей и объемовъ; въ противномъ же случаѣ, какъ напр. при опредѣленіи быстроты теченія воды, надо знать еще время, употребляемое ею на прохожденіе извѣстнаго разстоянія. За исключеніемъ немногихъ случаевъ, въ низшей геодезіи приходится имѣть дѣло съ единицами мѣръ для угловъ, линій, площадей и объемовъ; при чемъ, такъ какъ мѣры для площадей и объемовъ сводятся на линейныя, то остановимся на разсмотрѣніи этихъ послѣднихъ съ большею подробностью.

Если единица мѣры длины не употребляется для непосредственнаго измѣренія ею линій на мѣстности, а служитъ только для сравненія съ нею другихъ единицъ, то она называется *нормальною*. Такъ какъ всѣ тѣла измѣняютъ свои размѣры съ измѣненіемъ ихъ температуры, то недостаточно еще имѣть нормальною мѣру, нужно также знать и ту температуру ея, при которой она имѣетъ извѣстную длину. Для того же,

чтобы употреблять нормальную мѣру и при всякой другой ея температурѣ, надо знать расширеніе ея въ длину при измѣненіи температуры на  $1^\circ$ , или, иначе, надо знать *коэффициентъ расширенія*.

Нормальныя мѣры бываютъ двухъ родовъ: *концевыя* и *штриховыя*. Мѣрою *концевою* называется такая, длина которой опредѣляется разстояніемъ между ея крайними точками (концами), а мѣрою *штриховою* — такая, длина которой опредѣляется разстояніемъ между двумя штрихами, проведенными вблизи ея концовъ. Для достиженія бѣльшей точности при сравненіи нормальныхъ мѣръ между собою, предпочитаютъ изготовлять штриховыя мѣры.

Для предохраненія нормальныхъ мѣръ отъ порчи, поддѣлки, утраты и вообще всякихъ случайностей, онѣ сохраняются всегда въ какомъ нибудь правительственномъ учрежденіи; такъ напр., у насъ въ Россіи — въ *Депю нормальныхъ мѣръ и вѣсовъ* въ С.-Петербургѣ.

Основаніемъ при выборѣ длины для той или другой единицы мѣры, служили въ прежнее время части тѣла человѣка (напр.: длина ступни ноги принималась за *футъ*, ширина большаго пальца руки — за *дюймъ*, разстояніе между оконечностями пальцевъ обѣихъ распростертыхъ рукъ за *сажень маховую*, разстояніе отъ подошвы лѣвой ноги до конца пальцевъ поднятой вверхъ правой руки — за *сажень косую*, разстояніе отъ конца большаго пальца руки до конца малаго (или средняго) при возможномъ раздвиженіи пальцевъ называлась *пядь*, разстояніе отъ сгиба руки до конца выпрямленнаго средняго пальца — *локоть*). Съ теченіемъ времени мѣры эти получили бѣльшую опредѣленность и постоянство и сдѣлались вмѣстѣ съ тѣмъ чрезвычайно разнообразны не только въ различныхъ государствахъ; но даже и въ различныхъ мѣстностяхъ одного и того же государства. Это разнообразіе представляетъ значительныя неудобства и служитъ иногда причиною недоразумѣній и путаницъ; а потому нельзя не отнестись сочувственно къ стремленію многихъ государствъ имѣть одну общую для всѣхъ народовъ единицу мѣры.

Здѣсь мы разсмотримъ русскія, англійскія и французскія мѣры. Англійскія мѣры интересны по своей связи съ русскими, а знаніе французскихъ необходимо потому, что онѣ, по своей простотѣ и стройности всей системы, все болѣе и болѣе вытѣсняють собою употребленіе другихъ и примѣняются у насъ уже въ нѣкоторыхъ прикладныхъ математическихъ наукахъ.

§ 14. *Мѣры русскія*. Нѣкоторыя изъ употребляющихся въ настоящее время въ Россіи мѣръ чуть ли не настолько же древняго происхожденія, какъ и сама Россія. Нѣкоторыя русскія единицы длины заимствованы съ человѣческаго тѣла, какъ напр. сажень, пядь, локоть; но достовѣрныхъ и систематическихъ свѣдѣній о постепенномъ развитіи этихъ мѣръ не имѣется. Отдѣльныя же, отрывочныя свѣдѣнія таковы: съ самаго введенія въ Россію христіанской вѣры наблюденіе и сохраненіе единицъ мѣры поручено было духовенству; онѣ находились при церквяхъ, и вещи взвѣшивались и мѣрились въ присутствіи священника. Древняя единица мѣры протяженія *сажень* или, какъ она называлась

въ старину, *сажень* содержала въ себѣ 10 *пядей*, а съ XVI вѣка — 3 *аршина*<sup>1)</sup>. Позднѣе это отношеніе сажени къ аршину узаконено, а именно въ Уложеніи *царя Алексыя Михайловича* (1654 г.) говорится, между прочимъ, чтобы саженьямъ и аршинамъ въ Москвѣ и прочихъ городахъ быть равнымъ и сажени быть *мѣрою* въ 3 аршина. Со времени *Петра Великаго* сажень сдѣлана равною 7 англійскимъ футамъ или 3 аршинамъ, по 28 дюймовъ каждый. Въ 1832 году при министерствѣ внутреннихъ дѣлъ была образована комиссія, въ составъ которой вошелъ академикъ *Купферъ*. Результатомъ трудовъ<sup>2)</sup> ея былъ *Высочайшій указъ* (1835 г. 11-го октября), въ которомъ сказано, что комиссія была устроена „для постановленія на неизмѣнныхъ началахъ системы россійскихъ мѣръ и вѣсовъ“ и повелѣно „основаніемъ россійской линейной мѣры оставить навсегда сажень въ 7 настоящихъ англійскихъ футовъ, съ раздѣленіемъ на 3 аршина, каждый въ 28 дюймовъ или 16 вершковъ<sup>3)</sup>“.

Путевою линейною мѣрою издавна считается въ Россіи верста, которая была прежде въ 500 сажень, затѣмъ въ 1000, въ 700 и наконецъ стала опять въ 500 саж.

Единица квадратной поземельной мѣры есть *десятина*, которая названіе свое получила оттого, что прежде представляла квадратъ со сторонами въ 50 саж. ( $\frac{1}{10}$  доля версты) и, слѣдовательно, площадью въ 2500 кв. саж. Потомъ мѣра эта, названная *дворцовой* (*хозяйственной*) сдѣлана въ 3200 кв. саж., а помѣстная и вотчинная — въ 2400 кв. саж.<sup>4)</sup> До XVIII столѣтія поземельныя мѣры, кромѣ десятины, были: соха, жеребье, копна, четверть, коробье, обжа и проч. (Десятина =  $\frac{1}{20}$  жеребья = 10 копнамъ =  $\frac{2}{3}$  четверти = 1 коробье =  $\frac{1}{3}$  обжи; соха = или 800, или 1200, или 1800 четвертямъ, смотря по качеству почвы).

Мѣры линейныя и квадратныя, употребляющіяся въ Россіи въ настоящее время, суть: *линейныя* — верста = 500 сажень, сажень = 7 англійскимъ футамъ, футъ = 12 дюймамъ<sup>5)</sup>, дюймъ = 10 линіямъ; кромѣ того, сажень = 3 аршинамъ, аршинъ = 4 четвертямъ = 16 вершкамъ, четверть = 4 вершкамъ, вершокъ = 8 восьмымъ долямъ; при геодезическихъ измѣреніяхъ сажень дѣлится на 10, 100, 1000 и т. д. частей. Для измѣренія большихъ разстояній употребляется еще географическая миля<sup>6)</sup>, равная длинѣ  $\frac{1}{15}$  доли градуса земнаго экватора, = 6,9437 или почти 7 верстамъ. *Квадратныя*: квадратная верста, представляющая квадратъ со сторонами въ 1 версту, а потому она = 250000 кв. саж. или

1) Слово *аршинъ* заимствовано съ татарскаго и означаетъ пруть или лѣторосль.

2) опубликованныхъ въ сочиненіи „*Travaux de la commission pour fixer les mesures et les poids de l'Empire de Russie. Rédigés par A. T. Kupffer, 1841*“.

3) *В. Н. Татищевъ* (см. его Лексиконъ россійской и далѣе, 1793 г.), принимая во вниманіе значеніе слова аршинъ, производитъ *вершокъ* отъ верхушки дерева.

4) Уже въ 1625 году грамотою, данною верхотурскому воеводѣ князю Пожарскому, повелѣно употреблять при размежеваніи десятину длиною въ 80 саж., а шириною въ 30 саж.

5) Значеніе словъ футъ и дюймъ см. ниже въ мѣрахъ англійскихъ.

6) Отъ лат. слова *milia* (мн. число отъ *mille* = 1000).

104,166 десятинамъ; десятина есть площадь прямоугольника со сторонами въ 40 и 60 саж., или въ 30 и 80 саж., или въ 48 и 50 саж., такъ что 1 десятина = 2400 кв. саж.; квадратная сажень есть площадь квадрата со сторонами въ 1 сажень, такъ что 1 кв. саж. = 49 кв. футомъ.

Указанныя въ предыдущемъ русскія мѣры употребляются почти во всѣхъ мѣстахъ Имперіи, кромѣ нѣкоторыхъ ея окраинъ. Приведемъ здѣсь мѣры, употребляющіяся въ Царствѣ Польскомъ и прибалтійскихъ губерніяхъ. Въ Царствѣ Польскомъ дѣйствуетъ относительно мѣръ постановленіе 1818 года бывшаго намѣстника. Эти мѣры, въ отличіе отъ прежнихъ, названы *ново-польскими*. Въ силу этого постановленія единицею мѣръ протяженія служитъ *прентъ*<sup>1)</sup> = 2,024783489 русск. саж., прентъ дѣлится на 10 *прентиковъ*, прентикъ дѣлится на 10 *цалей* или *лавокъ*<sup>2)</sup>, лавка на 10 *линій* или *лавочекъ* и т. д., придерживаясь десятичнаго дѣленія. При межеваніи въ Польшѣ употребляется *цѣпь* = 5 прентамъ. Путевыя линейныя мѣры въ Польшѣ тѣ же, что въ остальной Россіи, то-есть верста и миля<sup>3)</sup>. Поземельною квадратною единицею служитъ *квадратный прентъ*; 300 кв. прентовъ составляютъ *моргъ*<sup>4)</sup>; 30 морговъ есть *влука*<sup>5)</sup>. 1 моргъ = 1233,2666.... кв. саж., влука = 15,41583 десятины. Въ мѣстностяхъ съ высокою цѣнностью земли (напр. въ городахъ) поземельною мѣрою служитъ *квадратный локоть*; при чемъ принимается, что 1 линейный прентъ = 7,5 локтямъ.

Въ прибалтійскихъ губерніяхъ единицею мѣръ протяженія служитъ *рута*<sup>6)</sup> =  $1\frac{59}{66}$  саж. или почти 1,894 саж. Кромѣ того, имѣемъ: 264 руть = 1 верстѣ, рейнландская сажень = 2 арш. 10,36 вершка = 0,8825 саж., 1 рута = 10 курляндскимъ шагамъ и 1 локоть = 2 англ. футомъ. Единицею квадратной поземельной мѣры служитъ *пура* или *лофштель*<sup>7)</sup>. Пура есть квадратъ со сторонами, равными 100 локтямъ или 200 англ. футомъ; онъ дѣлится на 25 *капъ*<sup>8)</sup> и равенъ 816,3265 кв. саж.; капа есть

1) Слово *прентъ* въ переводѣ значитъ палка, пруть.

2) *Лавка* въ переводѣ значитъ скамейка.

3) Такъ какъ до настоящаго времени еще встрѣчаются планы со старыми прентами до 1818 года, то не лишнее будетъ привести соотношеніе между новымъ прентомъ и старыми:

прентъ древн. польскій, коронный	=	1,033922	новаго прента.
„ литовскій.....	=	1,127915	„ „
„ старый хелминскій.....	=	1,000408	„ „
„ новый „ .....	=	1,016027	„ „
„ рейнскій „ .....	=	0,871813	„ „

4) Польское слово *mórg* происходитъ, кажется, отъ нѣмецкаго слова *Morgen* — квадратная поземельная мѣра, опредѣлявшаяся количествомъ того, что можетъ воздѣлать одинъ человѣкъ до полудня (около 0,5 дес.).

5) Польское слово *włoka* происходитъ, кажется, отъ польскаго же слова *włec* = волочить, тащить, боронить (въ земледѣльческихъ работахъ).

6) Нѣмецк. слово *Ruthe* означаетъ въ переводѣ пруть, лоза.

7) *Пура* латышское слово, а *лофштель* составлено изъ 2 нѣмецкихъ словъ: *Löffel* (Löffel) — ложка и *Stelle* — мѣсто.

8) *Капъ* отъ нѣм. слова *Kappe* — шапочка, колпакъ.

квадратъ со сторонами въ 20 локтей и 40 англ. фут.; 1,4 пурь называется *тонштель*<sup>1)</sup>.

§ 15. *Мѣры англійскія*. Линейною единицею мѣры служить въ Англии *ярдъ*<sup>2)</sup>. Ярдъ дѣлится на 3 равныя части, называемыя *футами*<sup>3)</sup>, футъ — на 12 *дюймовъ*<sup>4)</sup>, дюймъ — на 10 *линій*<sup>5)</sup>. При геодезическихъ измѣреніяхъ употребляется *цѣпь* = 22 ярдамъ = 66 футамъ и раздѣленная на 100 колѣнъ; 10 цѣпей составляютъ *фѳорлонъ*<sup>6)</sup> (furlong).

Англійскій футъ и дюймъ введены въ число русскихъ единицъ мѣры.

Единицею квадратной поземельной мѣры служить въ Англии *экръ* (acre)<sup>7)</sup> = 10 кв. цѣпямъ = 4840 кв. ярдамъ.

§ 16. *Мѣры французскія*. Основаніемъ *старой* французской системы мѣръ служить *футъ* (pied du roi)<sup>8)</sup>. Футъ дѣлился на 12 *дюймовъ*, а дюймъ на 12 *линій*; 6 футовъ составляли единицу, называвшуюся *тоазомъ*<sup>9)</sup>, который впоследствии, съ середины XVIII столѣтія, сталъ называться *перуанскимъ тоазомъ*, потому что былъ принятъ за единицу мѣры при измѣреніи длины дуги меридіана въ Перу. За нормальную длину тоаза принималась та его длина, которую онъ имѣлъ при температурѣ 13° Реомюра, такъ какъ эта температура была среднею при употребленіи тоаза въ Перу. Перуанскій тоазъ служилъ во Франціи единицею мѣры до 1791 года, когда декретомъ 26 марта была принята *метрическая* или *десятичная* система мѣръ и вѣсовъ.

Еще съ конца XVII столѣтія нѣкоторые ученые были озабочены отысканіемъ такой *натуральной* единицы мѣры, которая, будучи взята изъ природы, была бы *постоянною* и могла бы измѣниться развѣ только отъ какихъ-нибудь значительныхъ переворотовъ на земной планетѣ. Такъ, *Гюйгенсъ*<sup>10)</sup> предложилъ принять за линейную единицу мѣры длину

1) *Тонштель* отъ нѣмецк. словъ: *Tonne* — бочка и *Stelle* — мѣсто.

2) Англ. слово *yard* значитъ пруть. Ярдъ былъ введенъ въ 1101 г., когда король Генрихъ I приказалъ считать за ярдъ длину своей руки; но послѣ, почти 200 законоположеній, опредѣлявшихъ англійскія мѣры, парламентъ принялъ въ 1824 г. въ основаніе системы англійскихъ мѣръ длину секунднаго маятника въ пустотѣ, на уровнѣ моря, подъ широтою Лондона, которую (длину) и принялъ за ярдъ. Нормальный ярдъ, изготовленный первоначально механикомъ *Бердомъ* и подписанный „*Standard Yard. 1760*“ (стандартъ ярдъ означаетъ образцовый или указныи ярдъ), опредѣляется разстояніемъ между двумя точками, назначенными на вдѣланныхъ въ него двухъ золотыхъ штифтахъ, при температурѣ 62° Фаренгейта. Съ 1829 года этотъ ярдъ, сторѣвшій вмѣстѣ съ зданіемъ парламента, былъ замѣненъ новымъ, изготовленнымъ на основаніи того же положенія парламента. Число 1760, стоящее рядомъ съ надписью, показываетъ, что 1760 ярдовъ составляютъ одну англійскую милю.

3) Англ. слово *foot* (фут) — ступня.

4) Отъ голландск. слова *duim* — ширина большого пальца.

5) Латин. *linea* — черта, штрихъ.

6) Происходитъ отъ англ. слова *furrow-long* (фѳорроу-лонг) — длина борозды.

7) Отъ лат. слова *ager* — поле.

8) представлявшій длину ступни короля Людовика XIII (съ 1610 по 1643 г.).

9) Французское слово *toiser* — отмѣривать происходитъ отъ лат. слова *tendere* — натягивать, вытягивать.

10) Нидерландскій естествоиспытатель и математикъ (род. въ 1629 г., ум. въ 1695 г.).

секунднаго маятника, что и было сдѣлано, какъ мы видѣли, Англіею; Бѣмъ предложилъ въ срединѣ XVIII столѣтія за единицу мѣры принять длину, проходимую свободно падающимъ тѣломъ въ первую секунду своего паденія. Но такъ какъ эти величины *непостоянны*, а измѣняются съ измѣненіемъ мѣста наблюденія на земной поверхности, вмѣстѣ съ тѣмъ онѣ зависятъ отъ единицы не однородной съ ними — единицы времени, то комиссія, составленная парижскою академіею наукъ (изъ Борда, Лагранжа, Лапласа, Монжа и Кондорсе), предложила принять за линейную единицу мѣры длину одной десятиллионной ( $\frac{1}{10000000}$ ) доли четверти парижскаго меридіана отъ экватора до полюса. Это предложеніе и было *Высочайше* утверждено въ 1791 г. Въ виду того, что болѣе или менѣе точное опредѣленіе длины этой послѣдней единицы мѣры зависитъ отъ болѣе или менѣе точнаго опредѣленія длины четверти эллиптическаго меридіана, а эта послѣдняя зависитъ, въ свою очередь, отъ сжатія земли, парижская академія наукъ, не удовольствовавшись извѣстными въ то время опредѣленіями сжатія, поручила двумъ астрономамъ, Деламбру и Мешэню, измѣрить длину дуги парижскаго меридіана, заключающуюся между Дюнкирхеномъ и Барцелоною и содержащую 9 съ лишнимъ градусовъ. Измѣреніе это, произведенное въ самое бурное время французской революціи (съ 1792 до 1798 года), опредѣлило длину четверти меридіана въ 5130740,74 тоаза; десятиллионная доля этого числа, равная 0,513074 тоаза = 443,296 парижской линіи, принята за линейную единицу мѣры и названа *метромъ* <sup>1)</sup>. Вскорѣ послѣ этого въ Парижѣ былъ изготовленъ платиновый жезлъ, длина котораго при температурѣ 0° Цельсія была принята за нормальную длину метра и который извѣстенъ подъ названіемъ „*mètre des archives*“. Архивный метръ есть мѣра концевая.

Принимая метръ за линейную единицу, для полученія мѣръ болѣе крупныхъ берутъ его 10, 100, 1000, 10000 и т. д. разъ, а для мелкихъ мѣръ дѣлятъ метръ на 10, 100, 1000, 10000 и т. д. частей.

Единица для измѣренія площадей на мѣстности или поземельная мѣра, представляющая квадратъ со стороною въ 10 метровъ, названа *аръ* <sup>2)</sup>. Для полученія посредствомъ его мѣръ болѣе крупныхъ и мелкихъ, поступаютъ такъ же, какъ и съ метромъ, т.-е. или повторяютъ его 10, 100, 1000, 10000 разъ, или дѣлятъ на 10, 100, 1000, 10000 частей.

Единицею для измѣренія объемовъ служитъ *кубическій метръ*, т.-е. кубъ, построенный на линейномъ метрѣ. При измѣреніи имъ количества топлива онъ носитъ особое названіе — *стеръ* <sup>3)</sup>.

Для жидкостей служитъ единицею *литръ* <sup>4)</sup>, а для вѣса — *граммъ* <sup>5)</sup>. Не вдаваясь въ подробности относительно этихъ послѣднихъ еди-

1) Отъ греч. слова *métron* — мѣра.

2) Отъ лат. слова *area* — площадь.

3) Отъ греч. слова *stereós* — твердый, плотный.

4) Отъ греч. слова *litra* — единица греческаго вѣса и монеты.

5) Отъ греч. слова *grámma* — также единица греческаго вѣса.



ницъ, скажемъ только, что онѣ также состоятъ въ опредѣленной зависимости съ метромъ.

Чтобы не давать производнымъ отъ указанныхъ единицъ мѣръ особыхъ названій, для мѣръ болѣе *крупныхъ*, чѣмъ сама единица, представляютъ впереди названія ея частицы, взятыя съ греческаго: *дека*, *гекто*, *кило*, *мириа*<sup>1)</sup>, соотвѣтствующія 10, 100, 1000, 10000 разъ повтореннымъ единицамъ мѣры. Такъ, если единица есть метръ, то болѣе крупныя производныя единицы будутъ: декаметръ, гектометръ, километръ, мириаметръ; если единицею служитъ аръ, то будемъ имѣть: декаръ, гектаръ, киларъ, мириаръ; кубическія единицы суть: кубическій метръ, куб. декаметръ, куб. гектометръ, [куб. километръ и т. д. Для названій единицъ мѣръ *мелкихъ* употребляютъ латинскія приставки: *деци*, *сантн*, *милли*, *децимилли*<sup>2)</sup>, соотвѣтствующія 0,1; 0,01; 0,001; 0,0001; вслѣдствіе чего имѣемъ: дециметръ, сантиметръ, миллиметръ, децимиллиметръ, дециаръ, сантиаръ, миллиаръ, децимиллиаръ, куб. дециметръ, куб. сантиметръ и т. д.

Изъ предыдущаго видно, что во французской системѣ мѣръ и вѣсовъ всѣ единицы поставлены въ зависимость отъ основной единицы метра и что для полученія мѣръ болѣе крупныхъ или мелкихъ принято отношеніе десятичное. Вслѣдствіе этого французская система мѣръ и вѣсовъ, названная *десятичною системою*, имѣетъ слѣдующія весьма важныя въ наукѣ и общежитіи достоинства: 1) единица мѣры ея заимствована изъ природы и потому не можетъ быть утрачена, 2) десятичное отношеніе между послѣдовательными однородными единицами мѣры упрощаетъ въ значительной степени вычисленія, и 3) въ метрической системѣ имѣется простѣйшая связь между линейною единицею мѣры и единицами мѣръ площадей, объемовъ, вѣса и проч.

Хотя метръ, какъ это обнаружено новѣйшими опредѣленіями земныхъ размѣровъ, не представляетъ собою мѣру *постоянную*, вслѣдствіе неравенства между собою земныхъ меридіановъ, тѣмъ не менѣе разница, которая можетъ быть получена при новомъ опредѣленіи длины метра, изъ размѣровъ земли совершенно не ощутительна для общежитія; поэтому вся метрическая система, по своей простотѣ и удобству употребленія, заслуживаетъ не только вниманія, но и подражанія.

Метрическая система, вошедшая во Франціи во всеобщее употребленіе съ 1799 г., введена постепенно въ государства: Италію, Бельгію и Голландію, Испанію и Португалію, Германію, Австро-Венгрію, Швейцарію, Норвегію, Сербію и Румынію, и допущена или имѣется въ виду ввести: въ Швецію, Данію, Англію, Грецію и Турцію. Можно надѣяться, что эта система, рано или поздно, будетъ введена и во всѣ остальные европейскія и американскія государства, которыя, въ томъ числѣ и Россія, выразили это желаніе присылкою уполномоченныхъ въ засѣ-

1) Отъ греч. словъ *deca* = 10, *hekatón* = 100, *chilioi* = 1000, *myriós* = 10000.

2) Отъ лат. словъ: *decem* = 10, *centum* = 100, *mille* = 1000, *decem milia* = 10000.

даніе международной метровой комиссіи, собравшейся въ Парижѣ лѣтомъ 1872 года.

Въ заключеніе надо сказать, что 1 метръ = 0,4687 русской сажени и обратно 1 саж. = 2,133561 метра<sup>1)</sup>, а 1 тоазъ = 1,9490363 метра или 0,9135 сажени.

§ 17. Единицею для измѣренія угловъ служитъ *прямой уголъ* или измѣряющая его четверть окружности круга при радиусѣ = 1, которая дѣлится на 90 равныхъ частей, называемыхъ *градусами* и обозначаемыхъ значкомъ °; градусъ дѣлится на 60 *минутъ* со значкомъ ′; минута — на 60 *секундъ*, обозначаемыхъ значкомъ ″<sup>2)</sup>.

Дѣленіе окружности на 360° принадлежитъ временамъ отдаленной древности и неизвѣстно кѣмъ и когда оно предложено. Весьма существенная особенность числа 360 есть та, что оно имѣетъ 22 дѣлителя, почему и представляетъ много удобствъ въ практическомъ отношеніи.

Помимо дѣленія окружности на 360°, ее дѣлятъ также и на 400 градусовъ, градусъ на 100 минутъ, минуту на 100 секундъ. При такомъ дѣленіи прямому углу соотвѣтствуетъ 100 градусовъ. Значокъ градуса при *новомъ* дѣленіи окружности есть *g*, который ставится на то мѣсто, гдѣ стоитъ значекъ °, употребляющійся при *старомъ* дѣленіи на 360 частей. Дѣленіе окружности на 400<sup>g</sup>, предложенное также французами, одновременно съ метрическою системою, не имѣло однако такого успѣха, какъ эта послѣдняя, потому что не была принята астрономами по двумъ причинамъ: *во-первыхъ* потому, что всякое новое дѣленіе окружности повлечетъ за собою значительныя перевычисления при сравненіи старыхъ наблюденій съ новыми, и *во-вторыхъ* потому, что 400<sup>g</sup> и 24 часа времени не имѣютъ такого простаго соотношенія, какъ 360° и 24 часа; дѣйствительно, 1 часъ времени, при дѣленіи окружности на 400 градусовъ равенъ  $16\frac{2}{3}^g$ , а при дѣленіи окружности на 360° 1 часъ времени = 15°. Несмотря на это, *новое* дѣленіе окружности встрѣчается зачастую на геодезическихъ инструментахъ и принято за границей многими геодезистами, вслѣдствіе большей простоты при записываніи результатовъ угловыхъ измѣреній и при производствѣ вычисленій; въ самомъ дѣлѣ, величина угла въ 74 градуса 37 минутъ 25 секундъ изобразится при *старомъ* дѣленіи окружности такъ: 74° 37' 25'', а при *новомъ* такъ: 74<sup>g</sup>,3725. Очевидно, что всѣ ариѳметическія дѣйствія производятся съ этимъ послѣднимъ числомъ проще и быстрее, чѣмъ съ первымъ. Кромѣ того, при дѣленіи окружности на 400<sup>g</sup> весьма удобенъ переходъ отъ длины дуги, заключающейся между какими-нибудь двумя точками на землѣ, принимаемой за шаръ, къ градусной величинѣ той же дуги. Дѣйствительно, такъ какъ четверть окружности содержитъ 100<sup>g</sup> = 10000' = 1000000'', а

1) См. *сравнительныя таблицы десятичныхъ и русскихъ мѣръ* О. О. Петрушевскаго и Н. С. Еремѣева. Спб., 1868; а желающихъ ознакомиться съ мѣрами тѣхъ государствъ, въ которыхъ не введена метрическая система, отсылаемъ къ сочиненію *Общая метрологія* О. И. Петрушевскаго. Спб., 1849.

2) Отъ латинскихъ словъ: *gradus* — степень, мѣра, *minuta*, *minutus* — маленькій, *secunda* — вторая ступень при дѣленіи на части.

метръ есть 0,0000001 часть четверти меридіана, то длина 1" дуги на землѣ есть 10 метровъ; а потому, если напр. какое-нибудь разстояніе на землѣ есть 1678092 метра, то безъ всякаго вычисленія видимъ, что оно составляетъ 0,1678092 четверти земнаго меридіана, а градусная величина дуги есть  $16^{\circ} 78' 9,2''$  или, проще,  $16^{\circ},78092$ .

Для взаимнаго превращенія чиселъ, соотвѣтствующихъ тому или другому дѣленію окружности, можетъ служить слѣдующее:

$$100^{\circ} = 90^{\circ},$$

слѣдов.  $1^{\circ} = \frac{9^{\circ}}{10}$  и  $1^{\circ} = \frac{10^{\circ}}{9}$ .

А потому, для превращенія новыхъ дѣленій окружности въ старыя, нужно данное число новыхъ дѣленій умножить на 9 и раздѣлить на 10; а для превращенія старыхъ дѣленій въ новыя, нужно данное число градусовъ, минутъ и секундъ представить въ доляхъ градусовъ, умножить на 10 и раздѣлить на 9.

Деламбръ <sup>1)</sup> предлагаетъ слѣдующій пріемъ для этихъ превращеній:

Дано . . . . .	46 <sup>o</sup> ,78656
вычитаемъ отсюда $\frac{1}{10}$ часть . . . . .	4,67866
получаемъ остатокъ . . . . .	42,10790
дробь умножаемъ на 60 . . . . .	42 <sup>o</sup> 6',4740
еще разъ умножаемъ дробь на 60 . . . . .	42 <sup>o</sup> 6'28",440
Обратно: дано . . . . .	42 <sup>o</sup> 6'28",440
превращаемъ секунды въ минуты . . . . .	42 <sup>o</sup> 6',4740
превращаемъ минуты въ градусы . . . . .	42 <sup>o</sup> ,10790
придаемъ $\frac{1}{9}$ часть . . . . .	4,67866
результатъ . . . . .	46 <sup>o</sup> ,78656

Для избѣжанія вычисленій, это превращеніе совершается посредствомъ таблицъ I и II, приложенныхъ въ концѣ этой книги.

§ 18. Въ заключеніе умѣстно привести слѣдующія числовыя данныя:

$$\pi = 3,141592654 \quad \log \pi = 0,497149.$$

Длина дуги круга, равная радіусу, содержитъ:

градусовъ	$\zeta^{\circ} = \frac{180^{\circ}}{\pi} = 57^{\circ},2957795$	$\log \zeta^{\circ} = 1,75812263.$
минутъ	$\zeta' = \frac{180 \cdot 60}{\pi} = 3437',74677$	$\log \zeta' = 3,53627388.$
секундъ	$\zeta'' = \frac{180 \cdot 60 \cdot 60}{\pi} = 206264'',8062$	$\log \zeta'' = 5,31442513.$

<sup>1)</sup> И. Б. Деламбръ, французскій астрономъ и геодезистъ, род. въ Аміенѣ 1749 года, а ум. въ Парижѣ въ 1822 г.

При радиусѣ, равномъ 1, длина дуги:

$$\begin{array}{ll} \text{въ } 1^\circ \text{ есть } \frac{\pi}{180} = \frac{1}{57,2957795} = 0,01745329 & \log \frac{\pi}{180} = 8,24187737 - 10 \\ \text{въ } 1' \quad \text{»} \quad \frac{\pi}{180 \cdot 60} = \frac{1}{3437,74677} = 0,00029089 & \log \frac{\pi}{180 \cdot 60} = 6,46372612 - 10 \\ \text{въ } 1'' \quad \text{»} \quad \frac{\pi}{180 \cdot 60 \cdot 60} = \frac{1}{206264,8062} = 0,00000485 & \log \frac{\pi}{180 \cdot 60 \cdot 60} = 4,68557487 - 10 \\ \sin 1'' = & = 0,00000485 \quad \log \sin 1'' = 4,68557487 - 10 \\ \sin 1' = & = 0,00029089 \quad \log \sin 1' = 6,46372612 - 10 \end{array}$$

### О погрѣшностяхъ измѣреній и уравниваніи ихъ.)

§ 19. Измѣреніе какой бы то ни было величины не можетъ быть произведено съ математическою точностью, — какъ бы тщательно это измѣреніе не производилось, всегда *истинная* величина предмета будетъ нѣсколько, хотя можетъ быть и весьма мало, отличаться отъ результата измѣренія. Причина этого заключается отчасти въ несовершенствѣ чувствъ наблюдателя: зрѣнія, осязанія и слуха, а отчасти въ обстоятельствахъ, лежащихъ внѣ наблюдателя, каковы напр. несовершенство инструмента, сотрясеніе атмосферы отъ поднимающихся испареній, неправильное освѣщеніе предмета и т. п. Если же нельзя опредѣлить истинную величину неизвѣстной путемъ ея измѣренія, то можно поставить себѣ болѣе умѣренную задачу — опредѣлить *вѣроятнѣйшее* ея значеніе, т. е. такое значеніе неизвѣстной, въ которомъ *по возможности* устранено вліяніе погрѣшностей измѣреній.

Опредѣленіе вѣроятнѣйшаго значенія неизвѣстной и степени довѣрія, какого она заслуживаетъ, а также вліяніе погрѣшности этого вѣроятнѣйшаго значенія на другія неизвѣстныя составляетъ то, что называется *уравниваніемъ погрѣшностей измѣреній* или, просто, *уравниваніемъ измѣреній*.

§ 20. Если истинное значеніе неизвѣстной величины есть  $X$ , то для полученія *вѣроятнѣйшаго* значенія нужно измѣрить ее не одинъ, а нѣсколько разъ, и пусть результаты этихъ измѣреній суть:

$$x_1, x_2, x_3, x_4, \dots$$

Такъ какъ каждое изъ этихъ измѣреній должно быть произведено тщательно, то они не заключаютъ въ себѣ *грубыхъ* ошибокъ, и потому разности:  $X - x_1, X - x_2, X - x_3, X - x_4, \dots$  суть малыя неизбѣжныя ошибки измѣреній, которыя называются, вообще, *неправильными* или *случайными*. При этомъ подъ словомъ *случай* понимаютъ ту причину появленія погрѣшности, которая намъ неизвѣстна.

Случайныя погрѣшности бываютъ: *абсолютныя* и *относительныя*. Предыдущія разности, т.-е. разности между истинной величиной  $X$  предмета и однимъ изъ результатовъ:  $x_1, x_2, x_3, x_4, \dots$  его измѣренія суть *случайныя абсолютныя ошибки*. Абсолютная ошибка обозначается иногда

буквою  $d$  съ присоединеніемъ къ ней той буквы, которая представляетъ измѣряемую величину; напр., если измѣряемая величина есть  $a$ , то абсолютная ея ошибка будетъ  $da$ .

*Относительною случайною ошибкою* величины называется абсолютная ошибка единицы ея мѣры; такъ, если измѣряемая длина линіи есть  $a$ , а абсолютная ошибка этого измѣренія есть  $da$ , то  $\frac{da}{a}$  будетъ относительная ошибка длины линіи. Необходимость введенія понятія объ относительной ошибкѣ видна изъ слѣдующаго: если имѣемъ абсолютныя ошибки нѣсколькихъ измѣреній *одной и той же* величины, то по нимъ всегда можно судить о томъ, который изъ результатовъ лучше, т.-е. ближе подходитъ къ истинной величинѣ; напр., если для линіи, истинная длина которой есть 275 сажень, имѣемъ два измѣренія, абсолютныя ошибки которыхъ суть:  $+0,23^c$  и  $-0,75^c$ , то, понятно, что первый результатъ измѣренія лучше. Если же измѣрены *не одна, а двѣ* линіи, длиною въ 436 и 584 саж., при чемъ обнаружено, что абсолютная ошибка первой длины есть  $+0,50^c$ , а второй  $-0,57^c$ , то по нимъ нельзя отвѣтить на вопросъ — которое изъ этихъ измѣреній лучше, и для рѣшенія его нужно получить абсолютныя ошибки единицы мѣры этихъ линій или, иначе, опредѣлить относительныя ихъ ошибки. Такъ какъ, согласно опредѣленію, относительная ошибка первой линіи есть  $+\frac{0,50}{436} = +\frac{1}{872}$ , а для второй линіи  $-\frac{0,57}{584} = -\frac{1}{1024}$ , то можно сказать, что вторая линія измѣрена лучше. Относительныя ошибки  $\frac{1}{872}$  и  $\frac{1}{1024}$  нужно понимать такъ, что каждая единица мѣры ошибочна въ первомъ случаѣ на 872 долю своей длины, а во второмъ случаѣ на 1024 долю; иначе, каждая 872 с. при первомъ измѣреніи были увеличены или уменьшены на одну сажень, такъ что вмѣсто 872 саж. могло быть намѣрено 873 или 871 саж., а при измѣреніи второй линіи ошибка въ 1 саж. возможна только въ 1024 саженьяхъ.

§ 21. *Непосредственныя наблюденія (измѣренія)*. Можно показать, что *вѣроятнѣйшее* значеніе неизвѣстной величины, измѣренной нѣсколько разъ непосредственно есть среднее ариѣметическое изъ всѣхъ результатовъ измѣренія. Такъ, если результаты измѣренія величины  $X$  суть:  $x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n$ , то вѣроятнѣйшее значеніе этой неизвѣстной  $X$  есть

$$x = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots + x_n}{n},$$

гдѣ  $n$  есть число измѣреній. Въ самомъ дѣлѣ, изъ опыта обнаружено, что при достаточно большомъ числѣ наблюденій случайныя погрѣшности имѣютъ слѣдующія свойства: 1) онѣ никогда не превышаютъ извѣстныхъ предѣловъ, 2) чѣмъ меньше погрѣшность, тѣмъ она чаще случается, и 3) не только число положительныхъ погрѣшностей равно числу отрицательныхъ, но каждой положительной погрѣшности соотвѣтствуетъ

равная ей по абсолютной величинѣ отрицательная погрѣшность. Обозначивъ абсолютныя случайныя ошибки *чрезвычайно большого числа* измѣреній чрезъ

$$\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots, \Delta_n,$$

имѣемъ

$$X - x_1 = \Delta_1, \quad X - x_2 = \Delta_2, \quad X - x_3 = \Delta_3, \quad \dots \quad X - x_n = \Delta_n.$$

Отсюда

$$X = x_1 + \Delta_1, \quad X = x_2 + \Delta_2, \quad X = x_3 + \Delta_3, \quad \dots \quad X = x_n + \Delta_n,$$

или, складывая эти равенства, имѣемъ

$$nX = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n + \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n.$$

Но, вслѣдствіе третьяго свойства случайныхъ погрѣшностей, при достаточно большомъ числѣ наблюдений,

$$\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n = 0; \quad \text{поэтому} \quad nX = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n;$$

откуда

$$X = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}.$$

При этомъ выводѣ было предположено, что число  $n$  чрезвычайно велико; но это, такъ называемое *начало арифметической середины*, можетъ быть распространено и на случай ограниченаго числа  $n$ . Тогда сумма  $\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n$  уже не будетъ равна нулю и первая часть предыдущаго равенства не будетъ представлять истинную величину предмета, а будетъ къ ней тѣмъ ближе, чѣмъ болѣе  $n$ . Принявъ эту величину предмета, въ которой *по возможности* устранено вліяніе погрѣшностей измѣреній, за вѣроятнѣйшую его величину и обозначивъ ее чрезъ  $x$ , имѣемъ

$$x = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}.$$

Слѣдовательно, для опредѣленія вѣроятнѣйшей величины неизвѣстной, наблюдавшейся нѣсколько разъ, надо взять арифметическую середину изъ всѣхъ результатовъ наблюденія.

Предыдущая формула изображается кратче, а именно:

$$x = \frac{[x]}{n},$$

$$\text{гдѣ } [x] = x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n.$$

Это обозначеніе суммы чрезъ [ ] введено Гауссомъ<sup>1)</sup>.

**§ 22.** Отдѣльныя значенія абсолютныхъ и относительныхъ случайныхъ погрѣшностей не могутъ дать понятія о достоинствѣ приѣмовъ или снарядовъ, служившихъ при измѣреніи величины, потому что они могутъ быть *случайно* меньше для завѣдомо дурнаго приѣма или снаряда, чѣмъ

1) Карлъ Фридрихъ Гауссъ, германскій астрономъ и геодезистъ, родился въ Брауншвейгѣ въ 1777 году, а умеръ въ Гёттингенѣ въ 1855 году.

для приѣма или снаряда болѣе совершенныхъ. Вслѣдствіе этого, для оцѣнки результатовъ измѣренія берется средняя величина ошибки; причемъ можно показать, что ариѣметическая средина изъ первыхъ степеней абсолютныхъ ошибокъ вопроса не рѣшаетъ. Въ самомъ дѣлѣ, если имѣемъ  $n$  случайныхъ абсолютныхъ ошибокъ:  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots, \Delta_n$ , сдѣланныхъ при одинаково хорошихъ измѣреніяхъ одной и той же величины, то среднее ариѣметическое изъ нихъ будетъ

$$\Delta = \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n}{n} = \frac{[\Delta]}{n}.$$

Приложимъ эту формулу къ двумъ рядамъ наблюдений, для которыхъ имѣются слѣдующія случайныя абсолютныя ошибки:

$$\begin{aligned} &+ 5, + 3, + 4, + 1 \\ &+ 18, + 7, - 12, 0. \end{aligned}$$

Очевидно, что измѣренія, дающія второй рядъ ошибокъ, хуже измѣреній, дающихъ первый рядъ ошибокъ, потому что ошибки втораго ряда болѣе различаются между собою, чѣмъ ошибки перваго ряда; между тѣмъ среднее ариѣметическое для обоихъ рядовъ одно и то же, ибо

$$\frac{+ 5 + 3 + 4 + 1}{4} = \frac{+ 13}{4} = + 3,25$$

и 
$$\frac{+ 18 + 7 - 12 + 0}{4} = \frac{+ 13}{4} = + 3,25.$$

Поэтому можетъ казаться, что оба ряда измѣреній одинаковаго достоинства, а это ошибочно. Совсѣмъ иное будетъ въ томъ случаѣ, когда возьмемъ среднее ариѣметическое изъ вторыхъ степеней ошибокъ и вычислимъ

$$\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_n^2}{n} = \frac{[\Delta^2]}{n}.$$

Если это среднее ариѣметическое обозначимъ чрезъ  $m^2$ , то

$$m = \sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}. \quad (1)$$

Эта величина  $m$ , представляющая корень квадратный изъ средняго ариѣметическаго квадратовъ истинныхъ ошибокъ, называется *среднею* (квадратическою) *ошибкою*. Она есть лучшая мѣра достоинства измѣреній, потому, во-первыхъ, что большія погрѣшности имѣють на нее болѣе вліяніе, и во-вторыхъ потому, что при возведеніи ошибокъ въ квадратъ пропадаютъ знаки минусъ. Такъ, для предыдущихъ двухъ рядовъ ошибокъ имѣемъ соотвѣтственно:

$$m = \sqrt{\frac{5^2 + 3^2 + 4^2 + 1^2}{4}} = \pm 3,5,$$

$$m = \sqrt{\frac{18^2 + 7^2 + 12^2}{4}} = \pm 11,3.$$

На основаніи чего можно сказать, что измѣренія, давшія первый рядъ ошибокъ, лучше измѣреній, давшихъ второй рядъ ошибокъ.

Вмѣсто предыдущей средней ошибки въ практикѣ употребляется иногда *вѣроятная ошибка*, т.-е. такая, для которой настолько же вѣроятно, что отдѣльное измѣреніе какого-нибудь ряда содержитъ ошибку, *не превышающую* ее, насколько вѣроятно и то, что оно содержитъ ошибку, *превышающую* ее. Пояснимъ это примѣромъ, который можетъ иногда служить для опредѣленія величины вѣроятной ошибки; положимъ измѣрили нѣсколько разъ какую-нибудь величину, истинное значеніе которой извѣстно; вычислимъ погрѣшности этихъ измѣреній и расположимъ ихъ въ рядъ по абсолютной величинѣ. Тогда *вѣроятною ошибкою* будетъ въ этомъ ряду та, которая стоитъ въ срединѣ, потому что половина ряда погрѣшностей больше ея, а другая — меньше. Такой приѣмъ опредѣленія вѣроятной ошибки не всегда возможенъ и удобенъ, а потому ее вычисляютъ въ большинствѣ случаевъ по формулѣ, выражающей соотношеніе между вѣроятною и среднею ошибками и которая выводится въ высшей математикѣ (*Теоріи Вѣроятностей*). Вотъ эта формула:

$$r = ct, \quad (2)$$

гдѣ  $r$  есть вѣроятная ошибка,  $t$  — средняя ошибка, а  $c$  — постоянный коэффициентъ = 0,674489 или, приблизительно,  $c = 2/3$ .

Средняя ошибка служитъ, какъ мы видѣли, для оцѣнки достоинства измѣреній; но въ прикладныхъ знаніяхъ, какова геодезія, необходимо также знать и высшій предѣлъ той ошибки, которую можно допустить для извѣстнаго снаряда или извѣстнаго приѣма наблюдений. Зависимость между этимъ высшимъ предѣломъ ошибки, который будемъ называть просто *предѣльною ошибкою*, и среднею ошибкою не можетъ быть найдена строго теоретически, тѣмъ не менѣе объ этой зависимости можно судить по вѣроятности того, что ошибка наблюденія лежитъ между нулемъ и  $n$  разъ повторенной средней ошибкою; такъ, можно показать, что, если предѣльную ошибку для нѣкоторыхъ наблюдений обозначимъ чрезъ  $\alpha$ , а среднюю ошибку для тѣхъ же наблюденій — чрезъ  $t$ , то

при $\alpha = 2,0 t$	954	ошибки	изъ 1000	менѣе $\alpha$	и 46	болѣе $\alpha$ .
„ $\alpha = 2,5 t$	988	„	„ 1000	„	„ „ 12	„
„ $\alpha = 3,0 t$	997	„	„ 1000	„	„ „ 3	„
„ $\alpha = 3,5 t$	999	„	„ 1000	„	„ „ 1	„

Слѣдов. изъ 1000 ошибокъ одинаково хорошихъ наблюдений только три ошибки превышаютъ утроенную среднюю. На этомъ основаніи принимаютъ, что предѣльная ош. = утроенной средней ошибкѣ или

$$\alpha = 3t. \quad (3)$$

§ 23. Въ предыдущемъ параграфѣ мы показали зависимости между среднею и вѣроятною ошибками, а также между среднею и предѣльною ошибками. Вслѣдствіе чего, зная среднюю ошибку какого-нибудь приѣма



измѣреній, можно вычислить для него какъ вѣроятную, такъ и предѣльную ошибку.

Такъ какъ истинныя значенія ошибокъ  $\Delta$  ряда измѣреній неизвѣстны, вслѣдствіе неизвѣстности истиннаго значенія измѣряемой величины, то средняя ошибка не можетъ быть вычислена по формулѣ (1) предыдущаго параграфа, а потому для полученія приближенной, хотя и возможно точной, ея величины прибѣгаютъ опять къ вѣроятнѣйшему значенію неизвѣстной, т.-е. къ среднему арифметическому изъ измѣреній. Если чрезъ  $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_n$  обозначимъ разности между вѣроятнымъ значеніемъ предмета и каждымъ изъ результатовъ его измѣреній, то можно показать, что средняя ошибка

$$m = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n-1}}, \quad (I)$$

гдѣ  $n$  имѣеть то же значеніе, что и прежде. По этой формулѣ вычисляется средняя ошибка одного измѣренія, но можно вычислить и *среднюю ошибку арифметической середины* ряда измѣреній. Обозначая эту послѣднюю чрезъ  $M$ , имѣемъ

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}}. \quad (II)$$

Для доказательства формулъ (I) и (II) положимъ, что  $X$  есть истинное числовое значеніе неизвѣстной величины, а  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  суть результаты  $n$  измѣреній ея; тогда

$$X - x_1 = \Delta_1, \quad X - x_2 = \Delta_2, \quad X - x_3 = \Delta_3, \quad \dots \quad X - x_n = \Delta_n \quad (4)$$

будутъ  $n$  истинныхъ ошибокъ измѣреній. Вѣроятнѣйшее значеніе для  $X$  есть

$$x = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{[x]}{n}. \quad (5)$$

Обозначивъ же, какъ сказано, чрезъ  $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_n$  ошибки измѣреній при томъ предположеніи, что  $x$  есть истинное значеніе неизвѣстной  $X$ , имѣемъ:

$$\begin{aligned} x - x_1 &= \delta_1 \\ x - x_2 &= \delta_2 \\ x - x_3 &= \delta_3 \\ &\dots \dots \dots \\ x - x_n &= \delta_n \end{aligned} \quad (6)$$

Вычитаніе равенствъ (6) изъ (4) дастъ:

$$\begin{aligned} X - x &= \Delta_1 - \delta_1 \\ X - x &= \Delta_2 - \delta_2 \\ X - x &= \Delta_3 - \delta_3 \\ &\dots \dots \dots \\ X - x &= \Delta_n - \delta_n; \end{aligned} \quad (7)$$

<sup>1)</sup> Послѣдующій выводъ, не смотря на свою элементарность, можетъ быть на первое время опущенъ.

при чемъ, вслѣдствіе третьяго свойства случайныхъ погрѣшностей, можно принять, что

$$[\delta] = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \dots + \delta_n = 0.$$

Изъ равенствъ (7) имѣемъ:

$$\begin{aligned} \Delta_1 &= (X - x) + \delta_1 \\ \Delta_2 &= (X - x) + \delta_2 \\ \Delta_3 &= (X - x) + \delta_3 \\ &\dots\dots\dots \\ \Delta_n &= (X - x) + \delta_n. \end{aligned}$$

Возведя обѣ части cadaго изъ этихъ равенствъ въ квадратъ, получимъ:

$$\begin{aligned} \Delta_1^2 &= \{(X - x) + \delta_1\}^2 = (X - x)^2 + \delta_1^2 + 2(X - x)\delta_1, \\ \Delta_2^2 &= \{(X - x) + \delta_2\}^2 = (X - x)^2 + \delta_2^2 + 2(X - x)\delta_2, \\ \Delta_3^2 &= \{(X - x) + \delta_3\}^2 = (X - x)^2 + \delta_3^2 + 2(X - x)\delta_3, \\ &\dots\dots\dots \\ \Delta_n^2 &= \{(X - x) + \delta_n\}^2 = (X - x)^2 + \delta_n^2 + 2(X - x)\delta_n. \end{aligned}$$

Складывая и принимая во вниманіе, что  $[\delta] = 0$ , имѣемъ:

$$[\Delta^2] = n(X - x)^2 + [\delta^2]. \quad (8)$$

Съ другой стороны,  $n(X - x)^2$  въ зависимости отъ  $\Delta$  опредѣлится такъ: Складывая равенства (4) получимъ

$$X - \frac{[x]}{n} = \frac{[\Delta]}{n}.$$

Откуда, по (5)

$$X - x = \frac{[\Delta]}{n}. \quad (9)$$

А возведя обѣ части равенства въ квадратъ, получимъ:

$$\begin{aligned} (X - x)^2 &= \frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_n^2}{n^2} + \\ &+ 2 \frac{\Delta_1 \Delta_2 + \Delta_1 \Delta_3 + \dots + \Delta_2 \Delta_3 + \dots + \Delta_{n-1} \Delta_n}{n^2}. \end{aligned}$$

Числитель послѣдней дроби второй части весьма малъ, потому во-первыхъ, что члены его имѣютъ разные знаки и во-вторыхъ потому, что такъ какъ ошибки  $\Delta$  малы, то произведение ихъ еще меньше; при этомъ вся дробь тѣмъ ближе къ нулю, чѣмъ больше  $n$ . Принявъ, что

$$2 \frac{\Delta_1 \Delta_2 + \Delta_1 \Delta_3 + \dots + \Delta_2 \Delta_3 + \dots + \Delta_{n-1} \Delta_n}{n^2} = 0,$$

получимъ весьма близкую величину для  $(X - x)^2$ , а именно

$$(X - x)^2 = \frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_n^2}{n^2} = \frac{[\Delta^2]}{n^2}.$$

Отсюда имѣемъ

$$n(X - x)^2 = \frac{[\Delta^2]}{n}.$$

А подставивъ это въ (8), получимъ:

$$[\Delta^2] = \frac{[\Delta^2]}{n} + [\delta^2];$$

откуда

$$(n - 1) [\Delta^2] = n [\delta^2]$$

или

$$\frac{[\Delta^2]}{n} = \frac{[\delta^2]}{n-1}.$$

Наконецъ, подставивъ это въ (1) имѣемъ окончательно

$$m = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n-1}}.$$

Перейдемъ къ выводу формулы для  $M$ , т.-е. средней ошибки ариѳметической середины. Если  $X$  выражаетъ опять истинное значеніе измѣряемой величины, а  $x$  — вѣроятнѣйшее ея значеніе, иначе ариѳметическую середину изъ измѣреній, то

$$X - x = M$$

есть ошибка, подлежащая нашему опредѣленію. Въ предыдущемъ мы имѣли формулу (9)

$$X - x = \frac{[\Delta]}{n};$$

поэтому

$$M = \frac{[\Delta]}{n} = \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 + \dots + \Delta_n}{n}.$$

Возведемъ обѣ части равенства въ квадратъ; тогда

$$M^2 = \frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_n^2}{n^2} + \\ + 2 \frac{\Delta_1 \Delta_2 + \Delta_1 \Delta_3 + \dots + \Delta_2 \Delta_3 + \dots + \Delta_{n-1} \Delta_n}{n^2}.$$

Если же примемъ, какъ и прежде, что послѣдняя дробь равна нулю, то

$$M^2 = \frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots + \Delta_n^2}{n^2} = \frac{[\Delta^2]}{n^2}.$$

Но мы видѣли уже, что

$$\frac{[\Delta^2]}{n} = \frac{[\delta^2]}{n-1};$$

поэтому

$$M^2 = \frac{[\delta^2]}{n(n-1)}.$$

Слѣдовательно

$$M = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n(n-1)}} = \frac{m}{\sqrt{n}}.$$

Изъ этой послѣдней формулы видимъ, что если  $M$  — средняя ошибка арифметической середины — должна быть сдѣлано въ 2, 3, 4, . . . . раза менѣ средней ошибки одного измѣренія  $m$ , то число измѣреній  $n$  должно быть увеличено соотвѣтственно въ  $2^2$ ,  $3^2$ ,  $4^2$ , . . . . разъ.

Для уясненія всего предыдущаго обратимся къ числовымъ примѣрамъ.

*Примѣръ 1.* Нѣкоторая линия измѣрена была 6 разъ; при чемъ длина снаряда для измѣренія была выражена въ метрахъ и получены слѣдующіе результаты:

$$\begin{array}{ll} x_1 = 346,535^m & x_4 = 346,546^m \\ x_2 = \quad ,548 & x_5 = \quad ,550 \\ x_3 = \quad ,520 & x_6 = \quad ,537. \end{array}$$

Вслѣдствіе чего, *вѣроятнѣйшая* длина линіи будетъ

$$x = \frac{[x]}{n} = 346,500 + \frac{0,035 + 0,048 + 0,020 + 0,046 + 0,050 + 0,037}{6} = 346,539^m.$$

*Абсолютныя* случайныя ошибки будутъ:

$$\begin{array}{ll} x - x_1 = +0,004^m & x - x_4 = -0,007 \\ x - x_2 = -0,009 & x - x_5 = -0,011 \\ x - x_3 = +0,019 & x - x_6 = +0,002, \end{array}$$

*а относительныя* ошибки:

$$\begin{array}{ll} \frac{x - x_1}{x} = + \frac{1}{86635} & \frac{x - x_4}{x} = - \frac{1}{49506} \\ \frac{x - x_2}{x} = - \frac{1}{88504} & \frac{x - x_5}{x} = - \frac{1}{31502} \\ \frac{x - x_3}{x} = + \frac{1}{18239} & \frac{x - x_6}{x} = + \frac{1}{173269}. \end{array}$$

Переходя къ вычисленію *среднихъ* и *вѣроятной* ошибокъ, расположимъ вычисленіе въ слѣдующей табличкѣ:

№№	Измѣренія.	Ошибки $\delta$ .	$\delta^2$ .
1	346,535	+0,004	0,000016
2	,548	-0,009	81
3	,520	+0,019	361
4	,546	-0,007	49
5	,550	-0,011	121
6	,537	+0,002	4
	$x = 346,539$	$[\delta] = -0,002$	$[\delta^2] = 0,000632$

Отсюда средняя ошибка одного измѣренія

$$m = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n-1}} = \pm 0,011^m,$$

вѣроятная ошибка одного измѣренія

$$r = 0,674489 m = \pm 0,007^m;$$

наконецъ, средняя ошибка ариѳметической средней

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm \frac{0,011^m}{\sqrt{6}} = \pm 0,0046^m,$$

то-есть вѣроятнѣйшая длина линіи  $346,539^m$  можетъ быть ошибочна на  $\pm 0,0046^m$ ; другими словами, измѣряемую длину можно принять равною  $346,539 + 0,0046 = 346,5436^m$  или  $346,539 - 0,0046 = 346,5344^m$ . На этомъ основаніи результатъ измѣренія предыдущей линіи представляется такъ:

$$x = 346,539^m \pm 0,0046^m.$$

*Примѣръ 2.* Для нѣкотораго угла *Бессель* даетъ 18 независимыхъ результатовъ измѣренія, полученныхъ съ одинаковою тщательностію и при одинаковыхъ обстоятельствахъ. Эти результаты и соотвѣтственное вычисленіе ошибокъ расположены въ слѣдующей таблицѣ:

№№	Измѣренія.	Ошибки $\delta$ .	$[\delta^2]$ .
1	83°30'36,25"	— 1,38"	1,90
2	7,50	— 2,63	6,92
3	6,00	— 1,13	1,28
4	4,77	+ 0,10	0,01
5	3,75	+ 1,12	1,25
6	0,25	+ 4,62	21,34
7	3,70	+ 1,17	1,37
8	6,14	— 1,27	1,61
9	4,04	+ 0,83	0,69
10	6,96	— 2,09	4,37
11	3,16	+ 1,71	2,92
12	4,57	+ 0,30	0,09
13	4,75	+ 0,12	0,01
14	6,50	— 1,63	2,66
15	5,00	— 0,13	0,02
16	4,75	+ 0,12	0,01
17	4,25	+ 0,62	0,38
18	5,25	— 0,38	0,14
	$x = 83°30'34,87''$	$[\delta] = + 0,07''$	$[\delta^2] = 46,97$

Средняя ошибка одного измѣренія

$$m = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n-1}} = \pm 1,66''.$$

Средняя ошибка ариѣметической середины

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}} = \pm 0,39''.$$

Слѣдов. окончательный результатъ будетъ:

$$x = 83^\circ 30' 34,87'' \pm 0,39''.$$

§ 24. Средняя ошибка одного наблюденія и средняя ошибка ариѣметической середины служатъ для опредѣленія *мѣры точности*. Мѣрою точности *одного наблюденія* называется дробь  $\frac{1}{m}$ , а мѣрою точности *арифметической середины* — дробь  $\frac{1}{M}$ , гдѣ  $m$  и  $M$  суть средняя ошибки одного наблюденія и ариѣметической середины.

На этомъ основаніи: 1) Если мѣры точности  $h$  и  $h'$  двухъ измѣреній выражаются дробями  $\frac{1}{m}$  и  $\frac{1}{m'}$ , то

$$h : h' = \frac{1}{m} : \frac{1}{m'} = m' : m,$$

т.-е. *мѣры точности измѣреній обратно пропорціональны среднимъ ошибкамъ*; поэтому, измѣреніями *болѣе точными* называются тѣ, средняя ошибки которыхъ менѣе, а измѣреніями *одинаково точными* называются тѣ, средняя ошибки которыхъ равны между собою. 2) Если мѣры точности ариѣметической середины и одного измѣренія обозначимъ чрезъ  $H$  и  $h$ , то

$$H : h = \frac{1}{M} : \frac{1}{m} = m : M.$$

Подставляя вмѣсто  $M$  соотвѣтственное выраженіе (II) предыдущаго параграфа, получимъ:

$$H : h = 1 : \frac{1}{\sqrt{n}} = \sqrt{n} : 1;$$

откуда

$$H = h \sqrt{n},$$

т.-е. *мѣра точности ариѣметической середины прямо пропорціональна корню квадратному изъ числа  $n$  измѣреній*.

§ 25. Если для одной и той же неизвѣстной имѣемъ нѣсколько измѣреній *неодинаково точныхъ*, то вѣроятнѣйшая величина неизвѣстной не будетъ уже простая ариѣметическая середина изъ этихъ измѣреній и для полученія ея нужно имѣть, такъ-называемые, *вѣса* измѣреній.

Положимъ имѣемъ *неодинаково* точныя измѣренія:  $x_1, x_2, \dots, x_n$  величины  $X$ . Каждое изъ нихъ можно разсматривать какъ среднее арифметическое изъ различнаго числа *одинаково* точныхъ воображаемыхъ измѣреній; такъ, если  $x_1$  есть среднее арифметическое изъ одинаково точныхъ воображаемыхъ измѣреній  $l_1', l_1'', l_1''', \dots$ , число которыхъ есть  $p_1$ , то

$$x_1 = \frac{l_1' + l_1'' + l_1''' + \dots}{p_1}$$

Точно также можно предположить, что

$$x_2 = \frac{l_2' + l_2'' + l_2''' + \dots}{p_2}$$

$$x_3 = \frac{l_3' + l_3'' + l_3''' + \dots}{p_3}$$

.....

Здѣсь воображаемыя измѣренія:  $l_1', l_1'', l_1''', \dots, l_2', l_2'', l_2''', \dots, l_3', l_3'', l_3''', \dots$  *одинаково* точны; поэтому вѣроятнѣйшее значеніе неизвѣстной  $X$  изъ всѣхъ этихъ измѣреній есть

$$x = \frac{(l_1' + l_1'' + l_1''' + \dots) + (l_2' + l_2'' + l_2''' + \dots) + (l_3' + l_3'' + l_3''' + \dots) + \dots}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots}$$

или, на основаніи предыдущихъ равенствъ,

$$x = \frac{p_1 x_1 + p_2 x_2 + p_3 x_3 + \dots}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots}$$

Въ этой формулѣ числа  $p_1, p_2, p_3, \dots$  суть *вѣса* наблюдений. Вслѣдствіе этого, *вѣсъ* наблюденія есть число, показывающее, сколько наблюдений *одинаковой* точности необходимо сдѣлать, чтобы арифметическая середина изъ нихъ имѣла точность даннаго наблюденія.

Послѣдняя формула

$$x = \frac{p_1 x_1 + p_2 x_2 + p_3 x_3 + \dots}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots} = \frac{[px]}{[p]} \quad (\text{III})$$

есть болѣе общее выраженіе для арифметической середины. Она называется *общая арифметическая середина*.

*Примѣръ.* Положимъ, что нѣкоторый уголъ измѣренъ былъ 3 раза; при чемъ въ первый разъ результатъ  $56^\circ 13' 16''$  полученъ былъ изъ 2 повтореній, второй результатъ  $56^\circ 13' 14''$  полученъ изъ 3 повтореній, а третій —  $56^\circ 13' 15''$  изъ 5 повтореній. На основаніи формулы (III) вѣроятнѣйшая величина угла есть

$$x = 56^\circ 13' 0'' + \frac{16'' \times 2 + 14'' \times 3 + 15'' \times 5}{2 + 3 + 5} = 56^\circ 13' 14,9''.$$

Если  $p$  и  $p'$  суть вѣса двухъ наблюдений, а  $m$  и  $m'$  — ихъ среднія ошибки, то, разсматривая эти наблюденія какъ среднія арифметическія

изъ воображаемыхъ одинаково точныхъ наблюдений съ среднею ошибкою, напр.  $s$ , по формулѣ (II) будемъ имѣть

$$m = \frac{s}{\sqrt{p}}, \quad m' = \frac{s}{\sqrt{p'}}.$$

Откуда

$$\frac{m}{m'} = \frac{\sqrt{p'}}{\sqrt{p}} \quad \text{и} \quad \frac{m^2}{m'^2} = \frac{p'}{p},$$

т. е. *вѣса обратно пропорціональны квадратамъ среднихъ ошибокъ*. Вслѣдствіе этого, если для даннаго ряда наблюдений извѣстны среднія ошибки, то вѣсъ каждаго наблюденія опредѣлится по одной изъ формулъ

$$p = \frac{1}{m^2} \quad \text{или} \quad p = \frac{k}{m^2},$$

гдѣ  $k$  есть какое угодно постоянное число.

Съ понятіемъ о вѣсѣ сродно понятіе о мѣрѣ точности, ибо какъ то, такъ и другое находится въ зависимости отъ средней ошибки, но только вѣса обратно пропорціональны *квадратамъ* среднихъ ошибокъ, а мѣры точности обратно пропорціональны *первымъ степенямъ* среднихъ ошибокъ.

*Примѣчаніе.* Самое слово *вѣсъ*, а также и *уравновѣшиваніе* наблюдений происходитъ отъ тождественности формулы (III) съ формулою механики, опредѣляющей положеніе точки приложенія равнодѣйствующей суммы вѣсовъ. Такъ, если на какую-нибудь линію  $MN$  (черт. 9) дѣйствуютъ тяжести:  $p_1, p_2, p_3, \dots$ , для которыхъ разстоянія точекъ приложенія  $a_1, a_2, a_3, \dots$  отъ  $M$  суть:  $x_1, x_2, x_3, \dots$ , то равнодѣйствующая

$$p = p_1 + p_2 + p_3 + \dots = [p],$$

а разстояніе  $MA$  точки приложенія ея есть

$$x = \frac{p_1 x_1 + p_2 x_2 + p_3 x_3 + \dots}{p_1 + p_2 + p_3 + \dots} = \frac{[px]}{[p]}.$$

**§ 26.** Чтобы видѣть вліяніе среднихъ ошибокъ измѣреній на величины, получаемыя изъ нихъ чрезъ вычисленіе, или, другими словами, для разсмотрѣнія вліянія среднихъ ошибокъ величинъ на функціи этихъ послѣднихъ, обратимся сначала къ частнымъ случаямъ:

а) Положимъ, что наблюденная величина  $x$ , имѣющая среднюю ошибку  $m$ , умножается на постоянное число  $a$ . Спрашивается, какъ велика средняя ошибка  $M$  произведенія

$$X = ax?$$



Если  $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \dots$  суть истинныя абсолютныя ошибки наблюденной величины  $x$ , то

$$\begin{aligned} a(x + \Delta_1) - ax &= a\Delta_1 \\ a(x + \Delta_2) - ax &= a\Delta_2 \\ a(x + \Delta_3) - ax &= a\Delta_3 \\ &\dots\dots\dots \end{aligned}$$

будутъ истинныя абсолютныя ошибки функціи  $X$ , а потому средняя ошибка ея будетъ

$$\begin{aligned} M &= \sqrt{\frac{(a\Delta_1)^2 + (a\Delta_2)^2 + (a\Delta_3)^2 + \dots}{n}} \\ &= a\sqrt{\frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \dots}{n}} = a\sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}, \end{aligned}$$

гдѣ  $n$  есть число наблюденій. Но, по § 22,  $\sqrt{\frac{[\Delta^2]}{n}}$  есть средняя ошибка  $m$ ,

поэтому 
$$M = am. \quad (IV)$$

Отсюда видно, что при одномъ и томъ же  $m$  величина  $M$  будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ меньше  $a$ ; но съ другой стороны, такъ какъ  $X = ax$ , то съ уменьшеніемъ  $a$  должно увеличиваться  $x$ . Поэтому средняя ошибка  $M$  уменьшается съ увеличеніемъ  $x$ . Напр. пусть измѣрена шестая доля нѣкоторой длины съ среднею ошибкою  $m = 0,01$  саж., то средняя ошибка  $M$  всей длины будетъ

$$M = 6 \times 0,01 = 0,06 \text{ саж.}$$

Если же измѣрена четвертая доля, то при томъ же  $m = 0,01$  саж.

$$M = 4 \times 0,01 = 0,04 \text{ саж.}$$

Слѣдов. длина линіи  $X$  опредѣлится по ея долѣ  $x$  тѣмъ точнѣе, чѣмъ эта доля крупнѣе.

б) Двѣ независимо другъ отъ друга измѣренныя величины  $x_1$  и  $x_2$ , среднія ошибки которыхъ  $m_1$  и  $m_2$ , складываются. Спрашивается, какъ велика средняя ошибка  $M$  функціи

$$X = x_1 + x_2?$$

Обозначивъ истинныя абсолютныя ошибки измѣреній величинъ  $x_1$  и  $x_2$  соотвѣтственно чрезъ

$$\Delta'_1, \Delta''_1, \Delta'''_1, \dots$$

и

$$\Delta'_2, \Delta''_2, \Delta'''_2, \dots,$$

истинныя абсолютныя ошибки  $\Delta', \Delta'', \Delta''', \dots$  функціи  $X$  будутъ:

$$\begin{aligned} (x_1 + \Delta'_1) + (x_2 + \Delta'_2) - x_1 - x_2 &= \Delta'_1 + \Delta'_2 = \Delta' \\ (x_1 + \Delta''_1) + (x_2 + \Delta''_2) - x_1 - x_2 &= \Delta''_1 + \Delta''_2 = \Delta'' \\ (x_1 + \Delta'''_1) + (x_2 + \Delta'''_2) - x_1 - x_2 &= \Delta'''_1 + \Delta'''_2 = \Delta''' \\ &\dots\dots\dots \end{aligned}$$

Возведемъ въ квадратъ

$$\begin{aligned} (\Delta')^2 &= (\Delta'_1)^2 + (\Delta'_2)^2 + 2\Delta'_1 \Delta'_2, \\ (\Delta'')^2 &= (\Delta''_1)^2 + (\Delta''_2)^2 + 2\Delta''_1 \Delta''_2, \\ (\Delta''')^2 &= (\Delta'''_1)^2 + (\Delta'''_2)^2 + 2\Delta'''_1 \Delta'''_2, \\ &\dots\dots\dots \end{aligned}$$

Складываемъ эти равенства и дѣлимъ на число измѣреній  $n$ ; тогда, замѣчая что

$$\frac{[\Delta^2]}{n} = M^2, \quad \frac{[\Delta_1^2]}{n} = m_1^2, \quad \frac{[\Delta_2^2]}{n} = m_2^2$$

и, кромѣ того, имѣя въ виду, что  $2 \frac{[\Delta_1 \Delta_2]}{n}$  равно нулю, какъ сумма равно-возможныхъ положительныхъ и отрицательныхъ произведеній, имѣемъ:

$$M^2 = m_1^2 + m_2^2;$$

откуда

$$M = \sqrt{m_1^2 + m_2^2}.$$

Тотъ же результатъ получается и въ томъ случаѣ, когда вмѣсто суммы  $x_1 + x_2$  имѣемъ разность  $x_1 - x_2$ ; такъ что, если функція есть вообще

$$X = x_1 \pm x_2,$$

то

$$M = \sqrt{m_1^2 + m_2^2}. \tag{V}.$$

Если складывается нѣсколько однородныхъ величинъ:  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ , среднія ошибки которыхъ суть соотвѣтственно:  $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ , то средняя ошибка  $M$  всей суммы получится послѣдовательнымъ вычисленіемъ среднихъ ошибокъ суммъ:

$$\begin{aligned} &x_1 + x_2 \\ &(x_1 + x_2) + x_3 \\ &(x_1 + x_2 + x_3) + x_4 \\ &\dots\dots\dots, \end{aligned}$$

такъ что

$$M = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + \dots + m_n^2} = \sqrt{[m^2]}.$$

Въ частномъ случаѣ при  $m_1 = m_2 = m_3 \dots = m_n$  имѣемъ

$$M = m \sqrt{n}. \tag{VI}.$$

Простѣйшее примѣненіе формулъ (IV) и (VI) встрѣчается въ геодезіи при измѣреніи линий и угловъ на мѣстности. Въ самомъ дѣлѣ, если мѣрная цѣпь имѣетъ среднюю ошибку  $\pm m$ , то при отложеніи ея на мѣстности по линіи  $a$  разъ, полученная длина будетъ имѣть среднюю ошибку  $\pm am$ . Если же цѣпь сама по себѣ вѣрна, но при отложеніи ея по линіи дѣлается, вслѣдствіе случайныхъ причинъ, средняя ошибка  $\pm m$ , то по (VI) средняя ошибка всей этой линіи есть  $m \sqrt{n}$ .

с) Наконецъ, если имѣемъ функцію

$$X = f(x_1, x_2, x_3, \dots)$$

независимо измѣренныхъ величинъ  $x_1, x_2, x_3, \dots$ , среднія ошибки кото-

рыхъ суть соотвѣтственно:  $m_1, m_2, m_3, \dots$ , то приближенная величина средней ошибки  $M$  этой функции вычисляется по формулѣ

$$M = \sqrt{\left(\frac{df}{dx_1} m_1\right)^2 + \left(\frac{df}{dx_2} m_2\right)^2 + \left(\frac{df}{dx_3} m_3\right)^2 + \dots} = \sqrt{\left[\left(\frac{df}{dx}\right)^2 m^2\right]}. \quad (\text{VII}).$$

Для доказательства положимъ, что  $\Delta_1', \Delta_1'', \Delta_1''', \dots, \Delta_2', \Delta_2'', \Delta_2''', \dots, \Delta_3', \Delta_3'', \Delta_3''', \dots$  суть абсолютныя ошибки измѣренныхъ величинъ:  $x_1, x_2, x_3, \dots$ , а  $\Delta', \Delta'', \Delta''', \dots$  суть абсолютныя ошибки функции, тогда

$$\begin{aligned} \Delta' &= f(x_1 + \Delta_1', x_2 + \Delta_2', x_3 + \Delta_3', \dots) - f(x_1, x_2, x_3, \dots) \\ \Delta'' &= f(x_1 + \Delta_1'', x_2 + \Delta_2'', x_3 + \Delta_3'', \dots) - f(x_1, x_2, x_3, \dots) \\ \Delta''' &= f(x_1 + \Delta_1''', x_2 + \Delta_2''', x_3 + \Delta_3''', \dots) - f(x_1, x_2, x_3, \dots) \\ &\dots \end{aligned}$$

Такъ какъ абсолютныя ошибки измѣренныхъ величинъ малы, то вторыя и высшя ихъ степени могутъ быть пренебрежены; а потому, по строкѣ *Тайлора* получимъ:

$$\begin{aligned} \Delta' &= \frac{df}{dx_1} \Delta_1' + \frac{df}{dx_2} \Delta_2' + \frac{df}{dx_3} \Delta_3' + \dots \\ \Delta'' &= \frac{df}{dx_1} \Delta_1'' + \frac{df}{dx_2} \Delta_2'' + \frac{df}{dx_3} \Delta_3'' + \dots \\ \Delta''' &= \frac{df}{dx_1} \Delta_1''' + \frac{df}{dx_2} \Delta_2''' + \frac{df}{dx_3} \Delta_3''' + \dots \\ &\dots \end{aligned}$$

Отсюда приемами и заключеніями, употребленными въ пунктахъ а) и б), имѣемъ:

$$M = \sqrt{\left(\frac{df}{dx_1} m_1\right)^2 + \left(\frac{df}{dx_2} m_2\right)^2 + \left(\frac{df}{dx_3} m_3\right)^2 + \dots} = \sqrt{\left[\left(\frac{df}{dx}\right)^2 m^2\right]}.$$

*Примѣръ.* Въ плоскомъ треугольникѣ  $ABC$  непосредственно измѣрены три части:  $c, A, C$  и получены слѣдующіе результаты и ихъ среднія ошибки:

$$\begin{aligned} x_1 = c &= 236,84 \text{ саж.} & m_1 &= \pm 0,06 \text{ саж.} \\ x_2 = A &= 42^\circ 38,0' & m_2 &= \pm 1,0' \\ x_3 = C &= 103^\circ 24,5' & m_3 &= \pm 0,5'; \end{aligned}$$

требуется вычислить сторону  $a$  и среднюю ошибку ея. Въ этомъ случаѣ функция  $X = a$  представляется въ видѣ

$$X = a = \frac{c \cdot \sin A}{\sin C}.$$

Подставляя сюда предыдущія числовыя величины получимъ

$$a = 164,91 \text{ саж.}$$

Производныя нашей функции по переменнымъ  $c, A$  и  $C$  будутъ соотвѣтственно:

$$\begin{aligned} \frac{df}{dx_1} &= \frac{\sin A}{\sin C} = 0,696 \\ \frac{df}{dx_2} &= \frac{c \cdot \cos A}{\sin C} = a \cot A = 178,726 \\ \frac{df}{dx_3} &= -\frac{c \cdot \sin A}{\sin^2 C} \cos C = -a \cot C = -39,312. \end{aligned}$$

Затѣмъ, среднія ошибки измѣренныхъ величинъ будутъ:

$$m_1 = \pm 0,06,$$

$$m_2 = \frac{\pi}{180 \times 60} = \pm 0,00029,$$

$$m_3 = \frac{\pi}{180 \times 60 \times 2} = \pm 0,00014.$$

Вслѣдствіе всего этого

$$M = \sqrt{(0,696 \times 0,06)^2 + (178,726 \times 0,00029)^2 + (39,312 \times 0,00014)^2} \\ = \sqrt{0,001743} = \pm 0,067 \text{ саж.}$$

А потому окончательный результатъ будетъ

$$a = 164,91 \pm 0,067 \text{ саж.}$$

§ 27. Разность двухъ совершенно точныхъ наблюдений одной и той же величины должна была бы равняться нулю, вслѣдствіе же существованія въ наблюденіяхъ случайныхъ погрѣшностей, она не равна нулю и ее можно разсматривать, какъ истинную абсолютную ошибку функціи

$$f(x) = x - x = 0.$$

Если имѣемъ  $n$  такихъ разностей, то по нимъ можно вычислить, подобно средней (квадратической) ошибкѣ, среднюю разность  $D$  по формулѣ

$$D = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + d_3^2 + \dots + d_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{[d^2]}{n}}.$$

Здѣсь  $D$  есть вмѣстѣ съ тѣмъ и средняя ошибка функціи  $f(x) = x - x$ , которую въ предыдущемъ обозначали чрезъ  $M$  и для которой имѣли выраженіе

$$M = \sqrt{m_1^2 + m_2^2}.$$

Если наблюденія одинаково точны, то  $m_1 = m_2 = m$ , и мы имѣемъ

$$D = m \sqrt{2}.$$

Слѣдов.

$$m \sqrt{2} = \sqrt{\frac{[d^2]}{n}}$$

или

$$m = \sqrt{\frac{[d^2]}{2n}}. \quad (\text{VIII})$$

Если же  $n$  разностей не одинаково точны, а имѣютъ вѣса  $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$ , то средняя разность  $D$  получится по формулѣ

$$D = \sqrt{\frac{p_1 d_1^2 + p_2 d_2^2 + p_3 d_3^2 + \dots + p_n d_n^2}{n}} = \sqrt{\frac{[pd^2]}{n}},$$

а средняя ошибка  $m$  одного наблюденія по формулѣ

$$m = \sqrt{\frac{[pd^2]}{2n}}.$$

Въ предыдущемъ (§ 22) мы видѣли, что предѣльная ошибка = утроен-



гдѣ величины  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$  имѣютъ наименьшія, какія только возможно, значенія. Система уравненій (11), опредѣляющая погрѣшности:  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ , называется *уравненіями погрѣшностей*.

Относительно этихъ погрѣшностей слѣдуетъ замѣтить, что если онѣ малы, т.-е. выражаются малыми дробями, то и суммы

$$\begin{aligned} &\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n, \\ &\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \dots + \varepsilon_n^2, \\ &\varepsilon_1^3 + \varepsilon_2^3 + \dots + \varepsilon_n^3, \\ &\varepsilon_1^4 + \varepsilon_2^4 + \dots + \varepsilon_n^4, \\ &\dots \dots \dots \end{aligned}$$

тоже малы. Но обратное заключеніе было бы невѣрно, ибо суммы съ нечетными степенями

$$\begin{aligned} &\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \dots + \varepsilon_n, \\ &\varepsilon_1^3 + \varepsilon_2^3 + \dots + \varepsilon_n^3, \\ &\dots \dots \dots \end{aligned}$$

могутъ быть очень малы, а слагаемыя ихъ, имѣя разные знаки, могутъ быть очень велики, и слѣдов. по малой величинѣ этихъ суммъ нельзя заключать о малости количествъ:  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_n$ . На этомъ основаніи можемъ сказать, что если суммы съ четными степенями

$$\begin{aligned} &\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \dots + \varepsilon_n^2 \\ &\varepsilon_1^4 + \varepsilon_2^4 + \dots + \varepsilon_n^4 \\ &\dots \dots \dots \end{aligned}$$

весьма малы, то слагаемыя ихъ еще меньше; при чемъ, такъ какъ количества:  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$ , при одной и той же величинѣ предыдущихъ суммъ, будутъ наименьшія въ суммѣ

$$\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \dots + \varepsilon_n^2,$$

потому что дробь, меньшая единицы, при возведеніи въ квадратъ, уменьшается менѣе чѣмъ при возведеніи въ 4-ю, 6-ю и т. д. степени, то всего выгоднѣе допустить, что количества:  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$  таковы, что предыдущая сумма есть *минимумъ*, т.-е., что

$$[\varepsilon^2] = \min.;$$

или, замѣнивъ  $\varepsilon^2$  соответственными выраженіями изъ (11), имѣемъ

$$[(ax + by + cz + \dots + m)^2] = \min.$$

Изъ всего этого слѣдуетъ, что искомыя величины:  $x, y, z, \dots$  должны быть опредѣлены такъ, чтобы предыдущая сумма имѣла наименьшую величину.

Исходя изъ этого, найдемъ уравненія, которыя послужили бы для опредѣленія вѣроятнѣйшихъ значеній неизвѣстныхъ:  $x, y, z, \dots$ . Такъ какъ  $[(ax + by + cz + \dots + m)^2] = \min.$ , то при увеличеніи или уменьшеніи  $x$  на  $h$ , предыдущая сумма должна увеличиться, такъ что

$$[(a(x \pm h) + by + cz + \dots + m)^2] - [(ax + by + cz + \dots + m)^2] > 0$$

или

$$[(a(x \pm h) + by + cz + \dots + m)^2 - (ax + by + cz + \dots + m)^2] > 0.$$

Послѣ возведенія въ квадратъ, члены, не содержащіе  $h$ , пропадутъ и мы будемъ имѣть

$$[\pm 2a^2hx \pm 2abhy \pm 2achz \pm \dots \pm 2ahm + a^2h^2] > 0$$

или

$$[\{2(a^2x + aby + acz + \dots + am) \pm a^2h\} (\pm h)] > 0.$$

Такъ какъ  $h$  можно уменьшать по произволу, то знакъ количества, стоящаго въ  $\{ \quad \}$ , можно привести въ зависимость отъ знака выраженія  $2(a^2x + aby + \dots + am)$ . На этомъ основаніи, если сумма такихъ выраженій будетъ положительна, то предыдущее неравенство невозможно при  $h < 0$ , — а если  $[2(a^2x + aby + \dots + am)]$  отрицательно, то неравенство невозможно при  $h > 0$ . Отсюда слѣдуетъ, что для возможности существованія предыдущаго неравенства необходимо, чтобы

$$[2(a^2x + aby + \dots + am)] = 0,$$

или, иначе, чтобы

$$[a^2]x + [ab]y + \dots + [am] = 0.$$

Если дадимъ такое же приращеніе  $h$  не  $x$ , а  $y$ , то подобнымъ же путемъ придемъ къ заключенію, что

$$[ab]x + [b^2]y + \dots + [bm] = 0.$$

Продолжая такимъ же образомъ рассуждать относительно каждаго изъ неизвѣстныхъ, входящихъ въ систему уравненій (10), получимъ столько уравненій, сколько всѣхъ неизвѣстныхъ; такъ что въ концѣ-концовъ получимъ  $p$  уравненій:

$$\begin{aligned} [a^2]x + [ab]y + [ac]z + \dots + [am] &= 0 \\ [ab]x + [b^2]y + [bc]z + \dots + [bm] &= 0 \\ [ac]x + [bc]y + [c^2]z + \dots + [cm] &= 0 \\ \dots\dots\dots & \end{aligned}$$

служащихъ для опредѣленія вѣроятнѣйшихъ значеній  $p$  неизвѣстныхъ:  $x, y, z, \dots$ . Въ этихъ уравненіяхъ

$$\begin{aligned} [a^2] &= a_1^2 + a_2^2 + \dots + a_n^2, \\ [ab] &= a_1 b_1 + a_2 b_2 + \dots + a_n b_n, \\ [ac] &= a_1 c_1 + a_2 c_2 + \dots + a_n c_n, \\ \dots\dots\dots & \end{aligned}$$

Эти уравненія называются *нормальными*.

Законъ образованія коэффициентовъ въ нормальныхъ уравненіяхъ весьма простъ, а именно: умноживъ первое изъ данныхъ уравненій (10) на  $a_1$ , второе уравненіе на  $a_2$ , третье — на  $a_3$  и т. д., и сложивъ полученные коэффициенты при одномъ и томъ же неизвѣстномъ, получимъ коэффициенты перваго нормальнаго уравненія; затѣмъ, умноживъ первое изъ данныхъ уравненій (10) на  $b_1$ , второе — на  $b_2$ , третье — на  $b_3$  и т. д., и сложивъ коэффициенты при однихъ и тѣхъ же неизвѣстныхъ, получимъ коэффициенты втораго нормальнаго уравненія и т. д.

§ 29. Существуетъ нѣсколько способовъ для рѣшенія нормальныхъ уравненій предыдущаго параграфа, но проще всѣхъ способъ *Гаусса*. Онъ основанъ на томъ, что всѣ коэффициенты, кромѣ квадратныхъ, т.-е.  $[a^2]$ ,  $[b^2]$ ,  $[c^2]$ ,  $\dots$  и постоянныхъ членовъ:  $[am]$ ,  $[bm]$ ,  $[cm]$ ,  $\dots$ , входятъ

въ нормальныя уравненія два раза. Самый способъ разъясимъ на частномъ случаѣ: положимъ имѣемъ нормальныя уравненія съ 4-мя неизвѣстными

$$\left. \begin{aligned} [a^2]x + [ab]y + [ac]z + [ad]u + [am] &= 0, \\ [ab]x + [b^2]y + [bc]z + [bd]u + [bm] &= 0, \\ [ac]x + [bc]y + [c^2]z + [cd]u + [cm] &= 0, \\ [ad]x + [bd]y + [cd]z + [d^2]u + [dm] &= 0. \end{aligned} \right\} (12)$$

Умножимъ первое уравненіе сначала на  $\frac{[ab]}{[a^2]}$ , потомъ на  $\frac{[ac]}{[a^2]}$  и наконецъ на  $\frac{[ad]}{[a^2]}$ , получимъ 3 уравненія:

$$\begin{aligned} [ab]x + [ab]\frac{[ab]}{[a^2]}y + [ac]\frac{[ab]}{[a^2]}z + [ad]\frac{[ab]}{[a^2]}u + [am]\frac{[ab]}{[a^2]} &= 0, \\ [ac]x + [ab]\frac{[ac]}{[a^2]}y + [ac]\frac{[ac]}{[a^2]}z + [ad]\frac{[ac]}{[a^2]}u + [am]\frac{[ac]}{[a^2]} &= 0, \\ [ad]x + [ab]\frac{[ad]}{[a^2]}y + [ac]\frac{[ad]}{[a^2]}z + [ad]\frac{[ad]}{[a^2]}u + [am]\frac{[ad]}{[a^2]} &= 0. \end{aligned}$$

Вычитая эти уравненія изъ уравненія втораго, третьяго и четвертаго системы (12) и вводя обозначенія:

$$\left. \begin{aligned} [b^2] - [ab]\frac{[ab]}{[a^2]} &= [b^2.1], [bc] - [ac]\frac{[ab]}{[a^2]} = [bc.1], \\ [bd] - [ad]\frac{[ab]}{[a^2]} &= [bd.1], [bm] - [am]\frac{[ab]}{[a^2]} = [bm.1], \\ [c^2] - [ac]\frac{[ac]}{[a^2]} &= [c^2.1], [cd] - [ad]\frac{[ac]}{[a^2]} = [cd.1], \\ [cm] - [am]\frac{[ac]}{[a^2]} &= [cm.1], [d^2] - [ad]\frac{[ad]}{[a^2]} = [d^2.1], \\ [dm] - [am]\frac{[ad]}{[a^2]} &= [dm.1], \end{aligned} \right\} (13)$$

получимъ:

$$\left. \begin{aligned} [b^2.1]y + [bc.1]z + [bd.1]u + [bm.1] &= 0, \\ [bc.1]y + [c^2.1]z + [cd.1]u + [cm.1] &= 0, \\ [bd.1]y + [cd.1]z + [d^2.1]u + [dm.1] &= 0. \end{aligned} \right\} (14)$$

Предыдущее обозначеніе (13) нетрудно запомнить, если принять во вниманіе слѣдующее: 1) первые члены первой части суть буквенные множители второй части; 2) если числовой множитель второй части есть 1, то знаменатель дробнаго множителя втораго члена первой части есть  $a^2$ . Ниже увидимъ, что если этотъ множитель будетъ: 2, 3, ..., то знаменатели тѣхъ же дробей будутъ соотвѣтственно:  $[b^2.1]$ ,  $[c^2.1]$ , ...; такъ что, если въ скобкѣ стоитъ: 1, 2, 3, ..., то въ знаменателѣ вычитаемаго должно стоять:  $[a^2]$ ,  $[b^2.1]$ ,  $[c^2.2]$ , ...; 3) для образованія множителей втораго члена первой части, надо буквеннаго множителя въ первой степени въ знаменателѣ умножить на каждыя буквеннаго множителя перваго члена той же части; наконецъ 4) для провѣрки нужно знать, что если



символическій знакъ обозначеній (13) понимать алгебраически, то коэффициентъ обращается въ нуль; напр.

$$[b^2.1] = b^2 - ab \cdot \frac{ab}{a^2} = b^2 - b^2 = 0,$$

$$[bm.1] = bm - am \frac{ab}{a^2} = bm - bm = 0.$$

Если теперь первое уравненіе системы (14) умножимъ сначала на  $\frac{[bc.1]}{[b^2.1]}$ , а потомъ на  $\frac{[bd.1]}{[b^2.1]}$ ; затѣмъ, первое полученное при этомъ уравненіе вычтемъ изъ втораго уравненія системы (14), то, вводя обозначенія:

$$(15) \quad \begin{cases} [c^2.1] - [bc.1] \frac{[bc.1]}{[b^2.1]} = [c^2.2], & [cd.1] - [bd.1] \frac{[bc.1]}{[b^2.1]} = [cd.2] \\ [cm.1] - [bm.1] \frac{[bc.1]}{[b^2.1]} = [cm.2], & [d^2.1] - [bd.1] \frac{[bd.1]}{[b^2.1]} = [d^2.2] \\ [dm.1] - [bm.1] \frac{[bd.1]}{[b^2.1]} = [dm.2], \end{cases}$$

будемъ имѣть:

$$(16) \quad \begin{cases} [c^2.2]z + [cd.2]u + [cm.2] = 0 \\ [cd.2]z + [d^2.2]u + [dm.2] = 0. \end{cases}$$

Законъ образованія членовъ предыдущаго обозначенія (15) понятенъ, если принять во вниманіе сказанное относительно обозначеній (13).

Наконецъ, если первое уравненіе системы (16) умножимъ на  $\frac{[cd.2]}{[c^2.2]}$  и вычтемъ его изъ втораго уравненія, то получимъ:

$$(17) \quad [d^2.3]u + [dm.3] = 0;$$

здѣсь

$$[d^2.2] - [cd.2] \frac{[cd.2]}{[c^2.2]} = [d^2.3],$$

$$[dm.2] - [cm.2] \frac{[cd.2]}{[c^2.2]} = [dm.3].$$

Изъ (17), (16), (14) и (12), если раздѣлимъ первыя уравненія этихъ системъ соотвѣтственно на  $[d^2.3]$ ,  $[c^2.2]$ ,  $[b^2.1]$  и  $[a^2]$ , получимъ:

$$u + \frac{[dm.3]}{[d^2.3]} = 0,$$

$$z + \frac{[cd.2]}{[c^2.2]}u + \frac{[cm.2]}{[c^2.2]} = 0,$$

$$y + \frac{[bc.1]}{[b^2.1]}z + \frac{[bd.1]}{[b^2.1]}u + \frac{[bm.1]}{[b^2.1]} = 0,$$

$$x + \frac{[ab]}{[a^2]}y + \frac{[ac]}{[a^2]}z + \frac{[ad]}{[a^2]}u + \frac{[am]}{[a^2]} = 0.$$

Отсюда и опредѣляются неизвѣстныя:  $u$ ,  $z$ ,  $y$  и  $x$ .

Къ сказанному о рѣшеніи нормальныхъ уравненій надо прибавить: во 1) для избѣжанія производства вычисленія съ большими числами опре-

дѣляютъ по нормальнымъ уравненіямъ не самыя неизвѣстныя, а поправки для приближенныхъ ихъ значеній, которыя вычисляются предварительно изъ рѣшенія такого числа данныхъ уравненій, которое равно числу неизвѣстныхъ; во 2) если наблюденія не одинаково точны, то въ уравненія погрѣшностей надо ввести вѣса ихъ, и тогда нормальныя уравненія будутъ:

$$\begin{aligned} [pa^2] x + [pab] y + [pac] z + \dots + [pat] &= 0, \\ [pab] x + [pb^2] y + [pbc] z + \dots + [pbt] &= 0, \\ [pac] x + [pbc] y + [pc^2] z + \dots + [pct] &= 0. \end{aligned}$$

§ 30. Для разъясненія всего приема уравновѣшиванія посредственныхъ наблюденій сдѣлаемъ небольшой числовой примѣръ.

Найти вѣроятнѣйшія значенія: отрѣзка  $x$  на оси ординатъ и углового коэффициента  $y$  прямой линіи, уравненіе которой есть  $l = x + yb$  и для которой измѣрены на мѣстности слѣдующія ординаты  $l$  и абсцисы  $b$ :

$$\begin{aligned} l_1 &= 8,39 & b_1 &= 10 \\ l_2 &= 11,42 & b_2 &= 20 \\ l_3 &= 14,08 & b_3 &= 30 \\ l_4 &= 16,83 & b_4 &= 40 \\ l_5 &= 19,66 & b_5 &= 50. \end{aligned}$$

Вслѣдствіе случайныхъ погрѣшностей въ измѣреніяхъ этихъ длинъ, получимъ слѣдующія уравненія погрѣшностей:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= -l_1 + x + yb_1 \\ \varepsilon_2 &= -l_2 + x + yb_2 \\ \varepsilon_3 &= -l_3 + x + yb_3 \\ \varepsilon_4 &= -l_4 + x + yb_4 \\ \varepsilon_5 &= -l_5 + x + yb_5. \end{aligned}$$

Для избѣжанія вычисленія съ большими числами опредѣлимъ приближенные значенія  $x$  и  $y$ ; для чего напомнимъ слѣдующія два уравненія:

$$\begin{aligned} 14,08 &= x + 30y \\ 16,83 &= x + 40y; \end{aligned}$$

отсюда приближенные  $y$  и  $x$  будутъ  $y' = 0,28$  и  $x' = 5,68$ . Вслѣдствіе этого окончательныя значенія  $x$  и  $y$  можно представить въ видѣ:

$$\begin{aligned} x &= x' + \xi & y &= y' + \eta \\ \text{или} & & & \\ x &= 5,68 + \xi & y &= 0,28 + \eta. \end{aligned}$$

Послѣ этого уравненія погрѣшностей будутъ:

$$\begin{aligned} \varepsilon_1 &= -8,39 + 5,68 + \xi + 2,80 + 10\eta \\ \varepsilon_2 &= -11,42 + 5,68 + \xi + 5,60 + 20\eta \\ \varepsilon_3 &= -14,08 + 5,68 + \xi + 8,40 + 30\eta \\ \varepsilon_4 &= -16,83 + 5,68 + \xi + 11,20 + 40\eta \\ \varepsilon_5 &= -19,66 + 5,68 + \xi + 14,00 + 50\eta; \end{aligned}$$

или, полагая  $10\eta = H$ ,

$$\varepsilon_1 = + 0,09 + \xi + H$$

$$\varepsilon_2 = - 0,14 + \xi + 2H$$

$$\varepsilon_3 = 0,00 + \xi + 3H$$

$$\varepsilon_4 = + 0,05 + \xi + 4H$$

$$\varepsilon_5 = + 0,02 + \xi + 5H.$$

Составляемъ теперь по этимъ уравненіямъ нормальныя уравненія:

$$[a^2] H + [ab] \xi + [am] = 0$$

$$[ab] H + [b^2] \xi + [bm] = 0.$$

Вычисляемъ коэффициенты:

$$[a^2] = 1^2 + 2^2 + 3^2 + 4^2 + 5^2 = 55,$$

$$[ab] = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 = 15,$$

$$[am] = 0,09 - 0,28 + 0,00 + 0,20 + 0,10 = + 0,11,$$

$$[b^2] = 5,$$

$$[bm] = 0,09 - 0,14 + 0,00 + 0,05 + 0,02 = + 0,02.$$

Вставляя въ предыдущія нормальныя уравненія, получимъ:

$$55 H + 15 \xi + 0,11 = 0$$

$$15 H + 5 \xi + 0,02 = 0.$$

Для рѣшенія этихъ уравненій умножаемъ первое изъ нихъ на  $\frac{15}{55}$  и получаемъ

$$15 H + \frac{45}{11} \xi + 0,03 = 0,$$

которое вычитаемъ изъ втораго нормальнаго уравненія:

$$(5 - \frac{45}{11}) \xi - 0,01 = 0$$

или

$$10\xi - 0,11 = 0;$$

отсюда

$$\xi = + 0,011.$$

Подставивъ это во второе нормальное уравненіе, получимъ:

$$15H = - 0,055 - 0,02 = - 0,075,$$

а

$$H = - 0,005 \quad \text{и} \quad \eta = - 0,001.$$

Слѣдов. окончательно:

$$x = 5,68 + \xi = 5,691$$

$$y = 0,28 + \eta = 0,280.$$



## ГЛАВА I.

### Отдѣльныя части инструментовъ.

§ 31. Углы, составляемые линіями зрѣнія, лежатъ или въ плоскости горизонтальной, или въ плоскости вертикальной, или, наконецъ, въ плоскости, наклонной къ горизонту. Въ первомъ случаѣ углы называются *горизонтальными*, во второмъ — *вертикальными* и въ третьемъ — *наклонными*. Если одна изъ сторонъ вертикальнаго угла отвѣсна, такъ что при продолженіи своемъ кверху пересѣкаетъ небесную сферу въ точкѣ, называемой *зенитомъ*<sup>1)</sup>, то такой вертикальный уголъ называется *зенитнымъ угломъ* или *зенитнымъ разстояніемъ*. Если же одна изъ сторонъ вертикальнаго угла горизонтальна, то онъ называется *угломъ наклоненія*; при чемъ, если другая сторона угла лежитъ выше стороны горизонтальной, то уголъ наклоненія есть *уголъ повышенія*, а если ниже — *уголъ пониженія*.

§ 32. Для опредѣленія угловъ мѣстности въ геодезіи употребляются особые снаряды — *инструменты*<sup>2)</sup>. Въ настоящемъ курсѣ мы будемъ разсматривать инструменты, служащіе для опредѣленія угловъ горизонтальныхъ и вертикальныхъ, но не наклонныхъ, потому что, хотя существуютъ инструменты и для этихъ послѣднихъ (*повторительный кругъ, секстантъ* и т. п.), но въ послѣднее время они въ геодезіи не употребляются.

Инструменты, употребляющіеся при съемкѣ для опредѣленія горизонтальныхъ угловъ, бываютъ трехъ родовъ: 1) инструменты, опредѣляющіе только какіе-нибудь постоянные углы, напр.  $180^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $45^\circ$ . Они называются *инструментами съ постоянными углами*; 2) инструменты, опредѣляющіе величины угловъ *графически*; и 3) инструменты, опредѣляющіе углы въ градусной мѣрѣ или *угломѣрные инструменты*.

Для опредѣленія вертикальныхъ угловъ служатъ особыя приспособленія, дѣлаемая при нѣкоторыхъ инструментахъ для горизонтальныхъ угловъ.

1) Отъ арабскаго сл. *zemt* — дорога, тропинка; *zemt-ar-râs* выражаетъ точку надъ головою или высшую точку неба. См. также дальше происхожденіе слова „азимуть“.

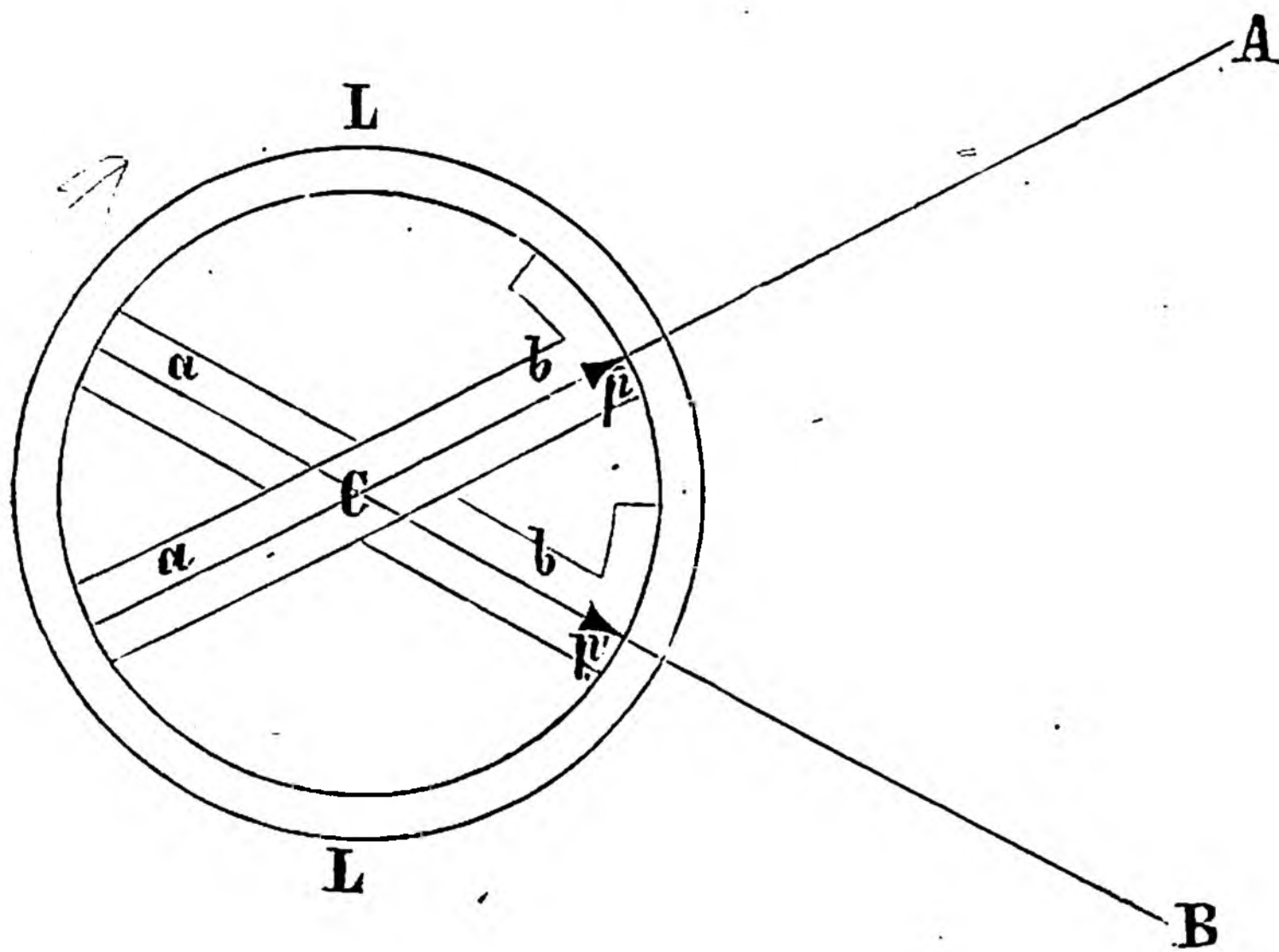
2) Лат. сл. *instrumentum* отъ *instruere* — устраивать.

Такъ какъ инструменты имѣютъ части, встрѣчающіяся во многихъ изъ нихъ, то для избѣжанія повтореній остановимся въ настоящее время на разсмотрѣннн этихъ отдѣльныхъ частей.

### Лимбъ и алидада.

§ 33. Если въ плоскости угла  $ACB$  (черт. 10) помѣстимъ неподвижный кругъ  $LL$ , раздѣленный на градусы, и если въ центрѣ его, совпадающимъ съ вершиною  $C$  угла, вращается линейка  $ab$ , на которой вообразимъ себѣ линію, проходящую чрезъ  $C$ , то, направивъ ее сначала на  $A$ , а потомъ на точку  $B$ , число градусовъ, заключающееся въ дугѣ  $pp'$ , выразитъ градусную величину угла  $ACB$ . Отсюда видно,

Черт. 10.



что всѣ угломерные инструменты, дающіе градусную величину угла, должны имѣть кругъ, раздѣленный на градусы. Этотъ кругъ, дѣлаемый обыкновенно изъ мѣди и составляющій главнѣйшую часть всякаго угломернаго инструмента, называется *лимбомъ*<sup>1)</sup>. Окружность лимба дѣлится на  $360^\circ$  или

на  $400^g$ , а каждый градусъ, смотря по величинѣ діаметра лимба и точности, съ которою желаютъ производить измѣреніе угловъ, подраздѣляется еще на болѣе мелкія части. Направленіе возрастающей подписи штриховъ дѣленій или, какъ говорятъ проще, направленіе дѣленій лимба, въ большинствѣ случаевъ слѣва направо; при этомъ предполагается, что глазъ помѣщается въ центрѣ лимба. Изрѣдка встрѣчаются инструменты (напр. *астролябии*), на лимбѣ которыхъ подпись штриховъ идетъ справа налѣво.

Раздѣленіе лимба на градусы и его части производится не отъ руки, а посредствомъ *дѣлительной машины*, главнѣйшая часть которой есть кругъ съ радіусомъ, бѣльшимъ радіуса круга, подлежащаго раздѣленію. Окружность круга дѣлительной машины раздѣлена штрихами на равныя части, и достоинство машины обуславливается вѣрностью этихъ послѣднихъ дѣленій. Чтобы перенести штрихи этого круга на другой, оба круга укрѣпляются въ центрѣ и, устанавливая линейку, вращающуюся въ центрѣ обоихъ круговъ, послѣдовательно при одной и той же температурѣ (неизмѣняющейся) на штрихи круга машины, прочерчиваютъ рѣзцомъ (*Grabstichel*), движущимся по краю линейки, штрихи на лимбѣ. Эти штрихи назначаются или на серебряномъ кольцѣ (въ случаѣ болѣе точныхъ угломерныхъ инструментовъ), вѣзанномъ въ лимбъ вблизи его окружности, или на посеребренномъ мѣдномъ лимбѣ.

<sup>1)</sup> Отъ лат. слова *limbus* — кайма, полоса.

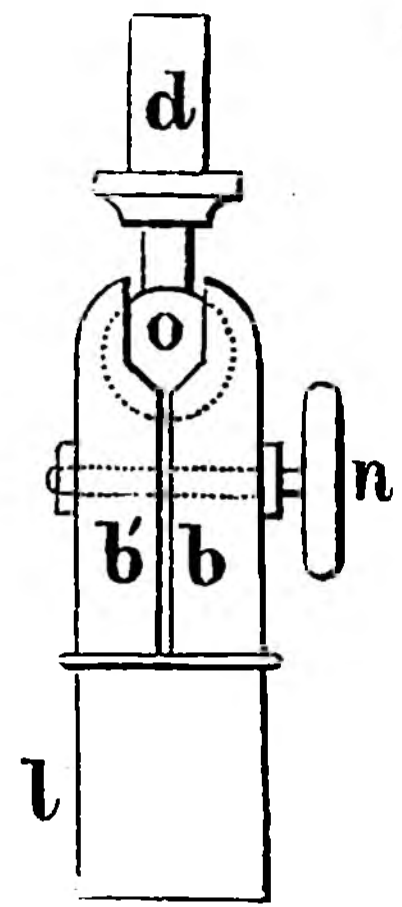
Линейка  $ab$ , вращающаяся въ центрѣ лимба, наз. *алидадою*<sup>1)</sup>. Иногда, въ болѣе совершенныхъ инструментахъ, эта линейка замѣняется цѣлымъ кругомъ, который называется алидаднымъ или просто также алидадою.

### Подставка.

§ 34. Лимбъ вмѣстѣ съ алидадою насаживается на подставку, которая бываетъ весьма разнообразнаго устройства. Приведемъ двѣ наиболѣе употребительныя изъ нихъ, а именно: *баксу* и *треножникъ*.

Черт. 11 представляетъ баксу<sup>2)</sup>. Нижняя часть ея состоитъ изъ пустаго цилиндра  $l$ , а верхняя — изъ двухъ половинокъ  $b$  и  $b'$  цилиндра съ шарообразнымъ углубленіемъ внутри. Половинка  $b'$  цилиндра сдѣлана изъ цѣльнаго куска металла съ цилиндромъ  $l$ , а половинка  $b$  можетъ прижиматься къ первой посредствомъ нажимательнаго винта  $n$ . Въ упомянутое шарообразное углубленіе вложенъ шаръ (яблоко)  $o$  съ цапфою<sup>3)</sup>  $d$ , на которую насаживается лимбъ инструмента. Завернувъ винтъ  $n$  натуго, половинки  $b$  и  $b'$  сближаются и сжимаютъ яблоко  $o$ , послѣ чего цапфа дѣлается неподвигною; ослабивъ же винтъ  $n$ , можно цапфу наклонять во всѣ стороны, а вмѣстѣ съ тѣмъ наклонять и плоскость сидящаго на ней лимба и приводить его въ горизонтальное положеніе.

Черт. 11.



На черт. 12 изображена въ разрѣзѣ тоже бакса, устройство которой отличается отъ предыдущей тѣмъ во-первыхъ, что яблоко  $o$  вложено въ пустой цѣльный цилиндръ  $c$ , накрытый крышкою  $kk$ , привинченной къ  $c$  винтами  $tt$ ; и во-вторыхъ, что шаръ  $o$  имѣетъ внизу стержень  $q$ , зажатый между концами трехъ или четырехъ винтовъ  $V$ , проходящихъ чрезъ стѣнки цилиндра  $c$ . Вращая винты  $V$  можно наклонять цапфу  $d$ , а слѣд. и приводить плоскость лимба въ горизонтальное положеніе.

Черт. 13 изображаетъ въ перспективѣ треножникъ, а черт. 14 есть тотъ же треножникъ въ планѣ. Изъ нихъ видно, что треножникъ состоитъ изъ круга  $k$ , въ серединѣ котораго укрѣплена цапфа  $d$ . Изъ одного куска металла съ кругомъ  $k$  сдѣланы три рычага  $r$ , въ концахъ которыхъ имѣются винтовья нарѣзки. Въ нихъ впущены три винта  $V$ , вращая которые въ ту или другую сторону можно наклонять цапфу  $d$  и приводить плоскость лимба, насаженнаго на цапфу, въ горизонтальное положеніе. Такъ какъ весь инструментъ ставится на плоскость концами винтовъ  $V$ , то для равномернаго распредѣленія тяжести его эти винты располагаются такъ, что, соединивъ концы ихъ прямыми линіями, обра-

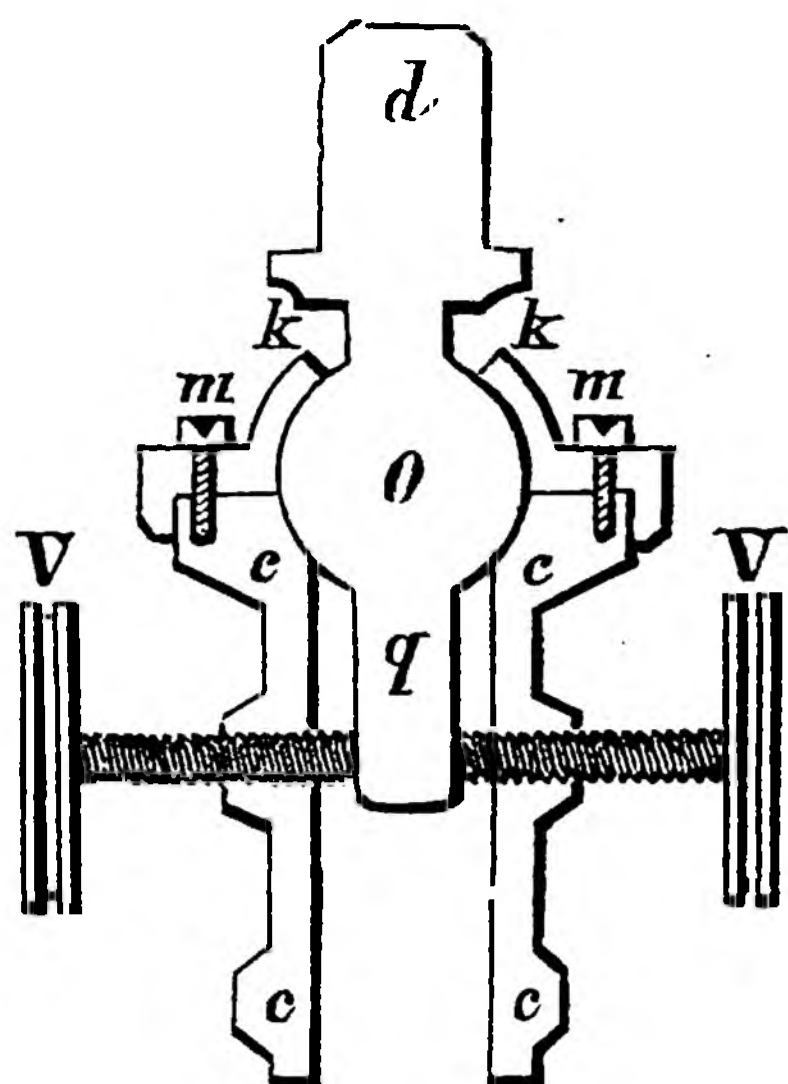
<sup>1)</sup> Арабское сл. *al-idhâda* для этой линейки происходитъ отъ слова, значеніе котораго есть ручка, нарукавникъ.

<sup>2)</sup> Вѣроятно искаженное нѣмецк. слово *Büchse* — полый цилиндръ, коробка.

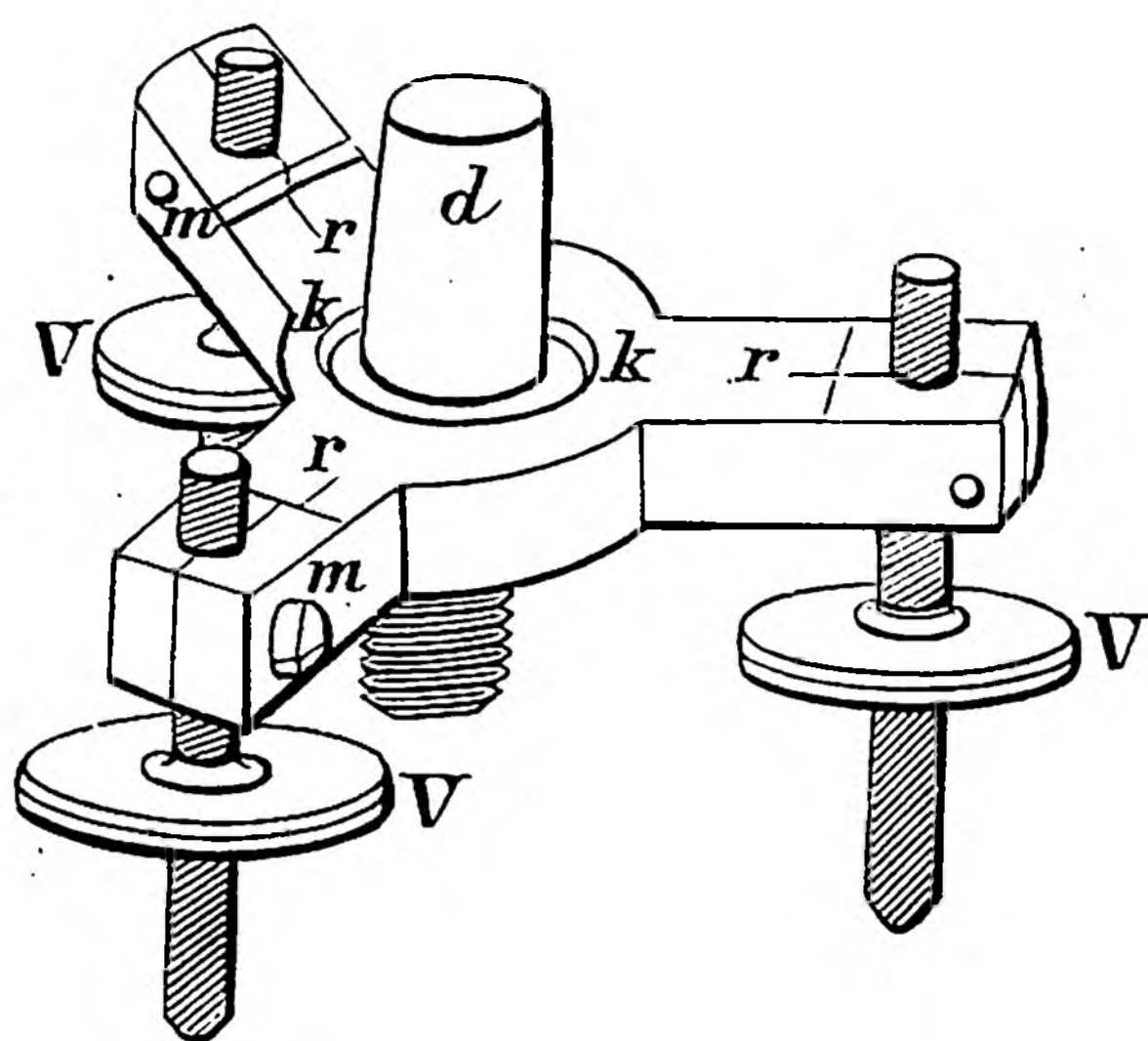
<sup>3)</sup> Нѣмецк. сл. *Zapfen* — стержень, шипъ.

зуються рівносторонній трикутникъ. Для регулювання плавності и правильності вращенія винтовъ  $V$ , на концахъ рычаговъ сдѣланы разрѣзы, сжимающіеся винтами  $m$ .

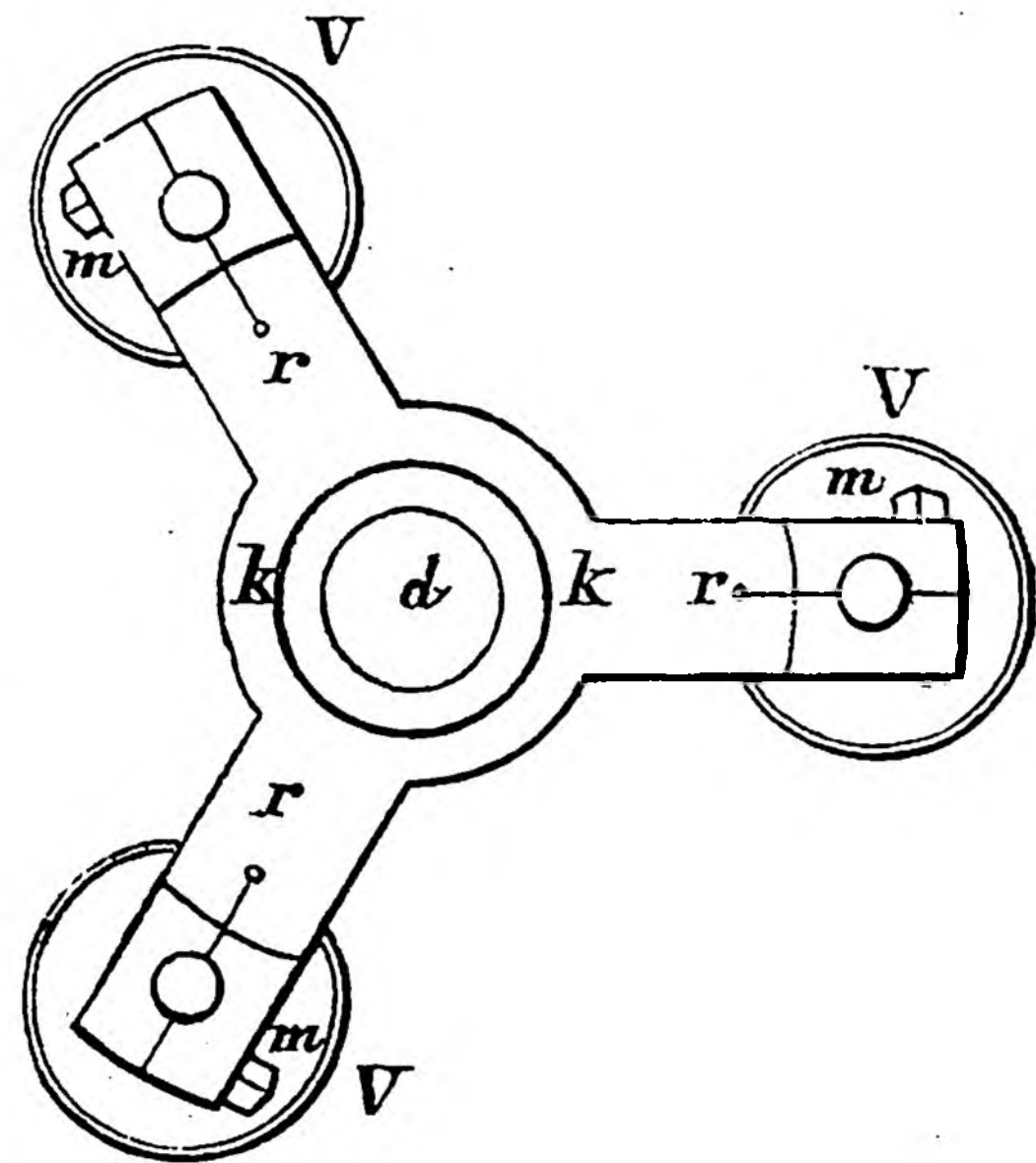
Черт. 12.



Черт. 13.



Черт. 14.



Винты  $V$  чертежей 12, 13 и 14, служащіе для приведенія плоскости лимба въ горизонтальное положеніе, называются *подъемными*.

## Діоптры.

§ 35. На алидадѣ помѣщается обыкновенно особое приспособленіе, двѣ точки котораго, находящіяся въ плоскости, перпендикулярной къ кругу  $LL$  (черт. 10) и проходящей чрезъ линію  $ab$ , приводятся въ совмѣщеніе со сторонами измѣряемаго угла. Линія, опредѣляемая этими точками, есть *линія визированія*, а самое дѣйствіе — приведеніе линіи визированія въ совмѣщеніе съ линією зрѣнія, направленною на какую-нибудь точку, называется *визированіемъ*. Для визированія служатъ или *діоптры*, или *зрительныя трубы*.

*Діоптрами*<sup>1)</sup> называются двѣ металлическія пластинки  $A, B$  (черт. 15). Діоптръ, находящійся при глазѣ наблюдателя во время употребленія, называется *глазнымъ*; онъ имѣетъ или нѣсколько круглыхъ отверстій, расположенныхъ по прямой линіи, или узкій продольный разрѣзъ. Діоптръ, помѣщающійся дальше отъ глаза наблюдателя и ближе къ наблюдаемому предмету, чѣмъ другой діоптръ, называется *предметнымъ*; онъ имѣетъ четырехугольный вырѣзъ, въ срединѣ котораго укрѣпленъ черный конскій волосъ.

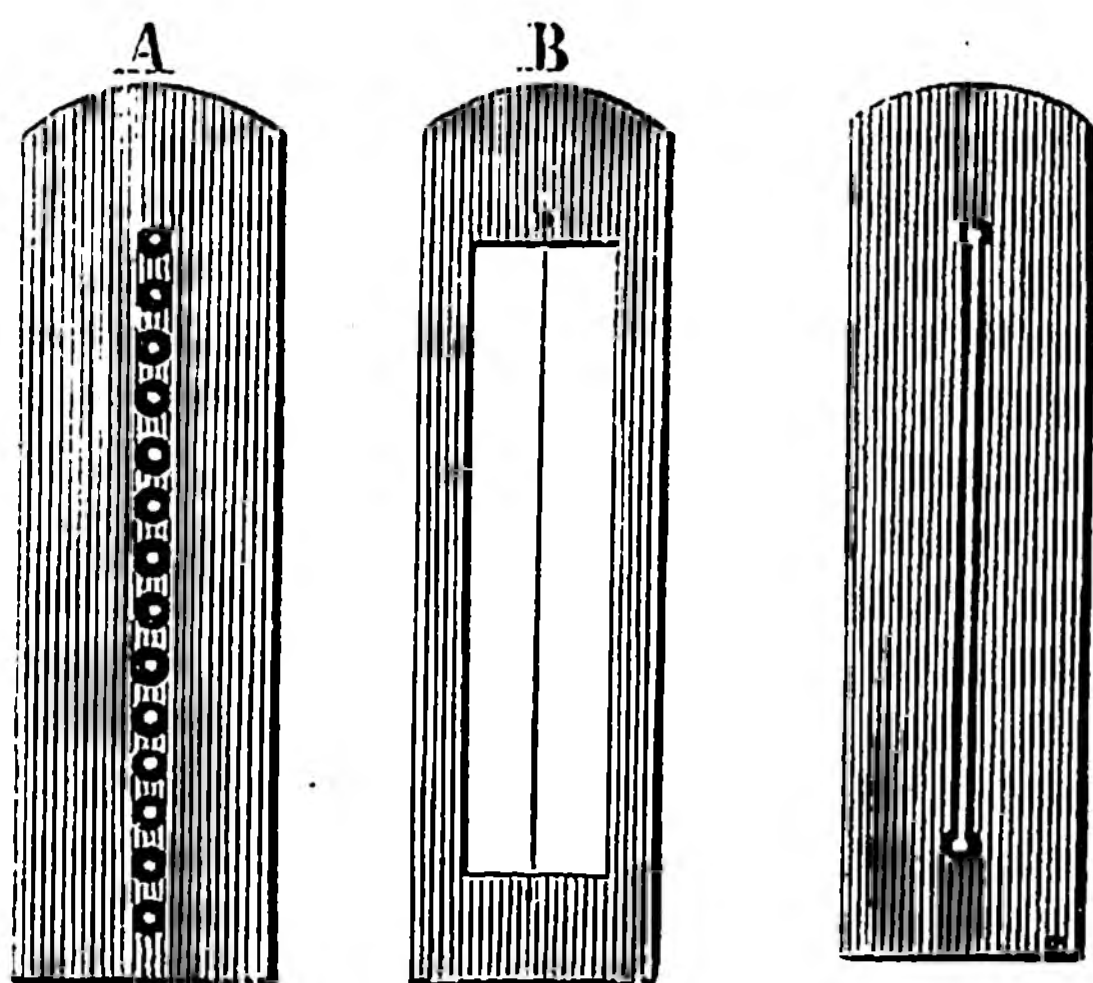
Плоскость, проходящая чрезъ средину какого-нибудь отверстия или точку разрѣза глазнаго діоптра и волосъ предметнаго, называется *коллимационною*<sup>2)</sup> *плоскостью*. Линія визированія для діоптровъ есть прямая, соединяющая средину одного изъ отверстій глазнаго діоптра съ точкою волоса предметнаго діоптра.

1) Греч. слово *dioptra* отъ *dia* — насквозь и *optein* — смотрѣть.

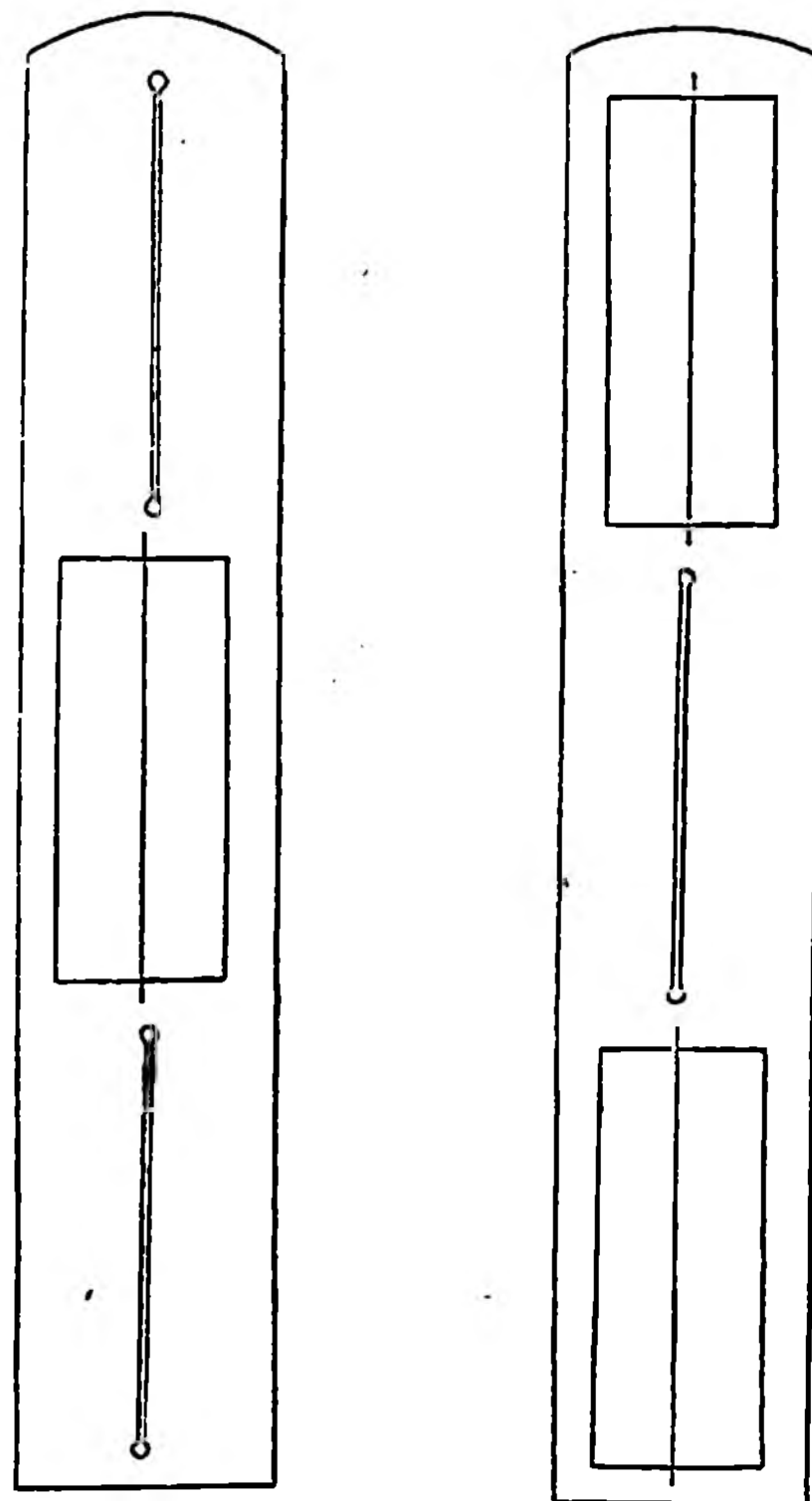
2) Лат. слово *collimare* означаетъ совпадать, совмѣщать.

Для визированія чрезъ діоптры на точку мѣстности, поворачиваютъ алидаду инструмента съ прикрѣпленными на ней діоптрами до тѣхъ поръ, пока, смотря сквозь одно изъ отверстій глазнаго діоптра, увидятъ, что волосъ предметнаго діоптра покрываетъ требуемую точку предмета.

Черт. 15.



Черт. 16.



Иногда, для возможности визированія по двумъ противоположнымъ направлениамъ, не измѣняя положенія алидады, на каждой парѣ діоптровъ помѣщаются двѣ или три коллимаціонныя плоскости; при чемъ глазныя отверстія и предметные волоски размѣщаются на пластинкахъ такъ, какъ показано на черт. 16. Или же, какъ напр. въ инструментахъ, употребляющихся при рѣшеніи простѣйшихъ вопросовъ, на предметномъ діоптрѣ дѣлается, вмѣсто широкаго прорѣза съ волосомъ, узкій разрѣзъ, какъ и на глазномъ (см. правый діоптръ на чертежѣ 15). Хотя это послѣднее устройство предметнаго діоптра обладаетъ меньшею ясностью изображенія и меньшимъ удобствомъ при визированіи, чѣмъ при разрѣзѣ, тѣмъ не менѣе оно имѣетъ то преимущество, что одна и та же коллимаціонная плоскость можетъ служить для визированія по двумъ противоположнымъ направлениамъ.

**§ 36.** Исслѣдованія точности визированія діоптрами, произведенныя вѣнскимъ профессоромъ *Штампферомъ* при самыхъ благопріятныхъ атмосферическихъ и другихъ обстоятельствахъ, показали:

1) что при круглыхъ отверстіяхъ въ глазныхъ діоптрахъ визированіе точнѣе, чѣмъ при узкихъ разрѣзахъ;

2) діаметръ круглаго отверстія можетъ доходить до 1 миллиметра, а ширина разрѣза — до  $\frac{3}{4}$  миллиметра; отъ уменьшенія этихъ размѣровъ визированіе точнѣе не будетъ, а между тѣмъ, ясность уменьшится;

3) вѣроятная ошибка визированія діоптрами доходитъ до 15", а слѣд. предѣльная ошибка = 3 среднимъ =  $\frac{3}{2}$  вѣроятной = 1'8";

4) разстояніе между діоптрами, не меньшее разстоянія яснаго зрѣнія.



равнаго 9 англ. дюймамъ или 23 сантиметрамъ, не имѣеть вліянія на точность визированія;

5) толщина волоса предметнаго діоптра должна быть такова, чтобы діаметръ его представлялся при глазномъ діоптрѣ подъ угломъ отъ 1 до 2 минутъ.

Этими изслѣдованіями было опровергнуто существовавшее до того времени мнѣніе, что точность визированія пропорціональна разстоянію между діоптрами, а также и углу, подъ которымъ должна представляться ширина отверстія глазнаго діоптра наблюдателю, глазъ котораго помѣщенъ у волоса предметнаго діоптра. Можно, однако, сказать что точность уменьшается съ уменьшеніемъ указаннаго выше разстоянія между діоптрами и ширины прорѣза.

§ 37. Недостатки діоптровъ состоятъ въ слѣдующемъ: а) волосъ предметнаго діоптра и визируемый предметъ даютъ на сѣтчатой оболочкѣ глаза неодинаково ясныя изображенія, потому что глазъ не можетъ *приспособиться* въ одинъ и тотъ же моментъ къ ясному видѣнію волоса и предмета, находящихся на разныхъ разстояніяхъ отъ глаза; б) количество лучей, поступающихъ въ глазъ чрезъ отверстіе глазнаго діоптра, менѣе количества лучей, идущихъ отъ того же предмета и падающихъ на глазъ непосредственно; а потому предметы, разсматриваемые чрезъ діоптры, кажутся менѣе ясными, а иногда, какъ напр. отдаленные предметы, видимые еще простыми глазами, совѣмъ не видны чрезъ діоптры.

### Зрительныя трубы.

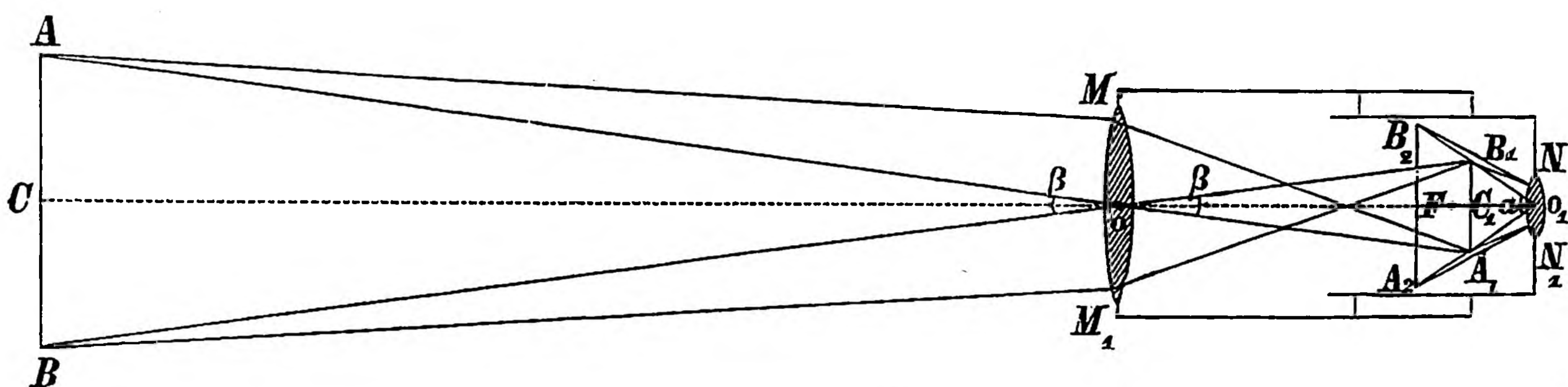
§ 38. Въ инструментахъ болѣе совершенныхъ употребляются вмѣсто діоптровъ *зрительныя трубы*<sup>1)</sup>. Зрительною трубою называется такой снарядъ, который служитъ для разсматриванія отдаленныхъ предметовъ въ бѣльшемъ видѣ и съ болѣею отчетливостью, чѣмъ простымъ глазомъ. Зрительныя трубы состоятъ или изъ однихъ сферическихъ стеколъ, или изъ сферическихъ стеколъ и зеркалъ. Въ геодезійи употребляются только перваго рода трубы — *діоптрическія*, въ астрономіи же употребляются также и трубы втораго рода — *катоптрическія*<sup>2)</sup>. Діоптрическія трубы весьма разнообразны по своему устройству; здѣсь мы разсмотримъ болѣе подробно тѣ изъ нихъ, которыя называются *астрономическими*, и сдѣлаемъ краткое описаніе *земныхъ трубъ*. *Астрономическою трубою* называется такая, которая даетъ изображенія предметовъ въ обратномъ видѣ, тогда какъ *земная* даетъ ихъ въ прямомъ видѣ. Предполагая, что теорія прохожденія лучей свѣта чрезъ сферическія стекла и образованіе изображеній въ трубахъ извѣстны изъ физики, мы не будемъ на этомъ останавливаться, а прямо перейдемъ къ разсмотрѣнію астрономическихъ трубъ.

1) Нельзя указать точно — кто и когда примѣнилъ въ первый разъ трубы къ геодезическимъ инструментамъ; тѣмъ не менѣе можно сказать, что примѣненіе это сдѣлано въ первой половинѣ XVII столѣтія.

2) Греческое слово *kat-optron* — зеркало.

Астрономическая труба въ простѣйшемъ видѣ или, иначе, труба *Кеплера*<sup>1)</sup> состоитъ изъ двухъ дwoяко-выпуклыхъ стеколъ, вставленныхъ въ металлическіе или деревянные цилиндры, плотно входящіе одинъ въ другой и, для устраненія отблеска, окрашенные внутри черною краскою. Большое стекло  $MM_1$  (черт. 17), обращающее всегда при наблюдении къ предмету, называется *объективомъ*<sup>2)</sup>, а малое стекло  $NN_1$ , обращающее къ глазу наблюдателя, — *окулярномъ*<sup>3)</sup>. Цилиндръ, въ который вставленъ объективъ, называется *объективнымъ колыномъ*, а цилиндръ съ окуляромъ,двигающійся внутри перваго, — *окулярнымъ колыномъ*. Если

Черт. 17.



*фокусное*<sup>4)</sup> разстояніе объектива обозначимъ чрезъ  $f$ , а фокусное разстояніе окуляра чрезъ  $f'$ , то въ астрономической трубѣ всегда  $f > f'$ . Дѣйствіе этой трубы состоитъ въ слѣдующемъ: объективъ  $MM_1$  даетъ *дѣйствительное, обратное и уменьшенное* изображеніе  $A_1B_1$  отдаленнаго предмета  $AB$ ; при чемъ, если разстояніе  $Co$  предмета отъ оптическаго центра объектива обозначимъ чрезъ  $D$ , а разстояніе  $oC_1$  изображенія предмета отъ объектива — чрезъ  $d$ , то извѣстно, что

$$\frac{1}{D} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f}. \quad (1)$$

Откуда видно, что при одномъ и томъ же  $f$  съ измѣненіемъ  $D$  будетъ измѣняться и  $d$ . Если вдвинемъ окулярное колыно на столько, чтобы разстояніе  $o_1C_1$  изображенія отъ окуляра было менѣе  $o_1F$ , представляющаго фокусное разстояніе  $f'$  окуляра, и чтобы предметъ  $A_1B_1$  былъ виденъ ясно чрезъ окуляръ  $NN_1$ , то глазъ, помѣщающійся за окуляромъ, увидитъ *мнимое, увеличенное* изображеніе  $A_2B_2$ .

Изъ этого видно: 1) что съ измѣненіемъ разстоянія  $D$  предмета отъ объектива положеніе окулярнаго колына внутри объективнаго должно также измѣняться; при чемъ, если разстояніе  $D$  уменьшится, то для яснаго видѣнія изображенія предмета окулярное колыно должно выдвинуть, а при увеличеніи разстоянія  $D$  — окулярное колыно должно дви-

1) *Кеплеръ* — германскій астрономъ, род. въ г. Вейлѣ (Вюртембергѣ) въ 1571 году, а ум. въ Регенсбургѣ (Баварія) въ 1630 году.

2) Отъ лат. слова *objicere* — ставить предъ чѣмъ, противопоставлять.

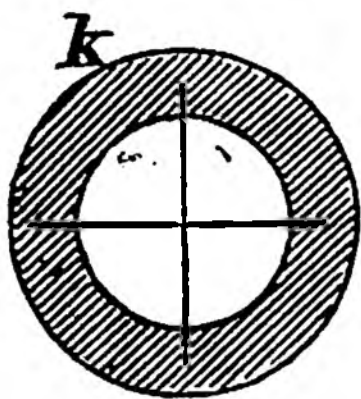
3) Отъ лат. слова *oculus* — глазъ.

4) Лат. слово *focus* — очагъ.

нуть; 2) установка окулярнаго колѣна, сдѣланная для нормальнаго глаза (для котораго *разстояніе яснаго зрѣнія* = 9 дюймамъ), не пригодна какъ для глаза близорукаго, такъ и для глаза дальнорюкаго, а именно: близорюкій долженъ окулярное колѣно вдвинуть, а дальнорюкій, наоборотъ, — выдвинуть.

Для того, чтобы имѣть въ трубѣ линію визировація, въ окулярномъ цилиндрѣ ея, перпендикулярно къ оси этого послѣдняго, укрѣпляется такъ называемая *сѣтка*, состоящая изъ паутинныхъ нитей, натянутыхъ подъ прямымъ угломъ на кольцо  $k$  (черт. 18). Сѣтка эта помещается въ томъ мѣстѣ окулярнаго колѣна, гдѣ находится изображеніе  $A_1B_1$  (черт. 17) предмета  $AB$ , и притомъ такъ, чтобы точка пересѣченія нитей лежала на оси этого колѣна. Линія, соединяющая оптичeskій центръ объектива съ точкою пересѣченія нитей сѣтки, служитъ для трубы линією визировація и называется *оптической осью трубы*; *геометрической же осью трубы* называется ось объективнаго колѣна. При правильномъ устройствѣ трубы обѣ эти оси должны совмѣщаться.

Черт. 18.



Если къ трубѣ придѣлана металлическая ось, около которой труба можетъ вращаться, то плоскость, описываемая оптической осью трубы при поворачиваніи ея около оси вращенія, называется *коллимационною плоскостью* трубы.

*Увеличеніемъ* трубы называется отношеніе угла, подъ которымъ предметъ виденъ въ трубу, къ тому углу, подъ которымъ онъ виденъ простымъ глазомъ. Но такъ какъ длина трубы ничтожна сравнительно съ разстояніемъ отъ предмета до объектива, то уголь, подъ которымъ виденъ предметъ простымъ глазомъ, можно принять =  $\Delta o B = \beta$  (черт. 17); а уголь, подъ которымъ виденъ предметъ въ трубу, полагая, что глазъ помещается въ точкѣ  $o_1$ , принимается =  $a$ . Вслѣдствіе чего увеличеніе

$$v = \frac{a}{\beta}.$$

Кромѣ того, такъ какъ для предметовъ достаточно удаленныхъ можно принять  $o C_1 = f$  и  $o_1 C_1 = f'$ , то

$$\operatorname{tg} \frac{1}{2} \beta = \frac{B_1 C_1}{f} \quad \text{и} \quad \operatorname{tg} \frac{1}{2} a = \frac{B_1 C_1}{f'}.$$

Откуда, по малости  $\beta$  и  $a$

$$\frac{\operatorname{tg} \frac{1}{2} a}{\operatorname{tg} \frac{1}{2} \beta} = \frac{\operatorname{tga}}{\operatorname{tg} \beta} = \frac{a}{\beta} = \frac{f}{f'}.$$

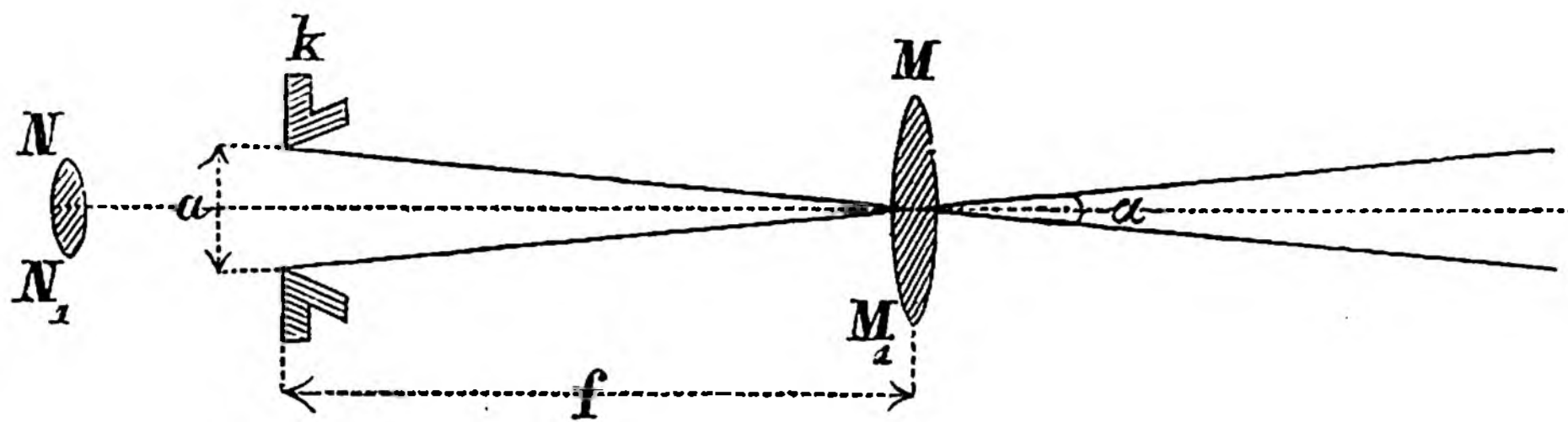
Слѣд.

$$v = \frac{a}{\beta} = \frac{f}{f'}. \quad (v)$$

*Поле зрѣнія* трубы называется та часть пространства, которая обозрѣвается въ трубу при неподвижномъ ея положеніи.

Такъ какъ всякая точка предмета и ея изображеніе лежатъ на одной прямой, проходящей чрезъ оптической центръ объектива, и такъ какъ внутренній кругъ кольца  $k$  сѣтки (черт. 18) почти равенъ окуляру, то мѣрою для поля зрѣнія можетъ служить уголъ  $\alpha$  (черт. 19), вершина котораго совпадаетъ съ оптическимъ центромъ объектива  $MM_1$ , а стороны

Черт. 19.



направлены къ оконечностямъ какого-нибудь діаметра внутренняго кольца круга  $k$  сѣтки. Если длину этого діаметра обозначимъ чрезъ  $a$ , то изъ чертежа имѣемъ:

$$\frac{1}{2}a = f \operatorname{tg} \frac{1}{2}\alpha,$$

гдѣ  $f$ , какъ и прежде, есть фокусное разстояніе объектива. Изъ предыдущей формулы имѣемъ:

$$\operatorname{tg} \frac{1}{2}\alpha = \frac{a}{2f};$$

или, по малости  $\alpha$ ,

$$\alpha = \frac{1}{\sin 1''} \cdot \frac{a}{f}.$$

Діаметръ  $a$  не можетъ быть великъ и опытъ показываетъ, что онъ не долженъ быть болѣе  $\frac{2}{3}$  фокуснаго разстоянія  $f'$  окуляра; а потому, принимая  $a = \frac{2}{3} f'$ , имѣемъ:

$$\alpha = \frac{2}{3 \sin 1''} \cdot \frac{f'}{f}.$$

Или, принимая во вниманіе формулу (v) и обозначая постоянную величину  $\frac{2}{3 \sin 1''}$  чрезъ  $q$ , получаемъ:

$$\alpha = \frac{q}{v}. \quad (\alpha)$$

Слѣдов. поле зрѣнія трубы обратно пропорціонально ея увеличенію, т.-е. чѣмъ менѣе увеличеніе, тѣмъ болѣе поле зрѣнія трубы и наоборотъ.

*Яркостью* трубы называется то количество лучей, которое, проходя чрезъ трубу, падаетъ на единицу площади. Яркость изображенія нужно различать отъ *ясности* или, иначе, той отчетливости, съ которою видна каждая точка изображенія.

Если свѣтовой пучекъ почти цилиндрическаго вида, выходящій изъ окуляра трубы, настолько широкъ, что закрываетъ весь зрачекъ глаза, то глазъ получаетъ отъ изображенія столько лучей свѣта, сколько онъ получаетъ отъ предмета непосредственно; и въ этомъ случаѣ говорятъ, что труба имѣетъ *натуральную* яркость изображенія, которую принимаютъ равною 1. Если же діаметръ  $o$  (черт. 20) свѣтоваго цилиндра, выходящаго изъ окуляра, менѣе діаметра  $O$  зрачка, то яркость уменьшается

въ отношеніи площадей основаній цилиндровъ съ діаметрами  $o$  и  $O$ ; такъ что яркость  $h$  трубы будетъ

$$h = \frac{o^2}{O^2}.$$

Но, по черт. 20,  $o = \frac{f'}{f} A$ , а принимая во вниманіе уравненіе (v),  $o = \frac{A}{v}$ ; поэтому

$$h = \frac{1}{O^2} \cdot \frac{A^2}{v^2}.$$

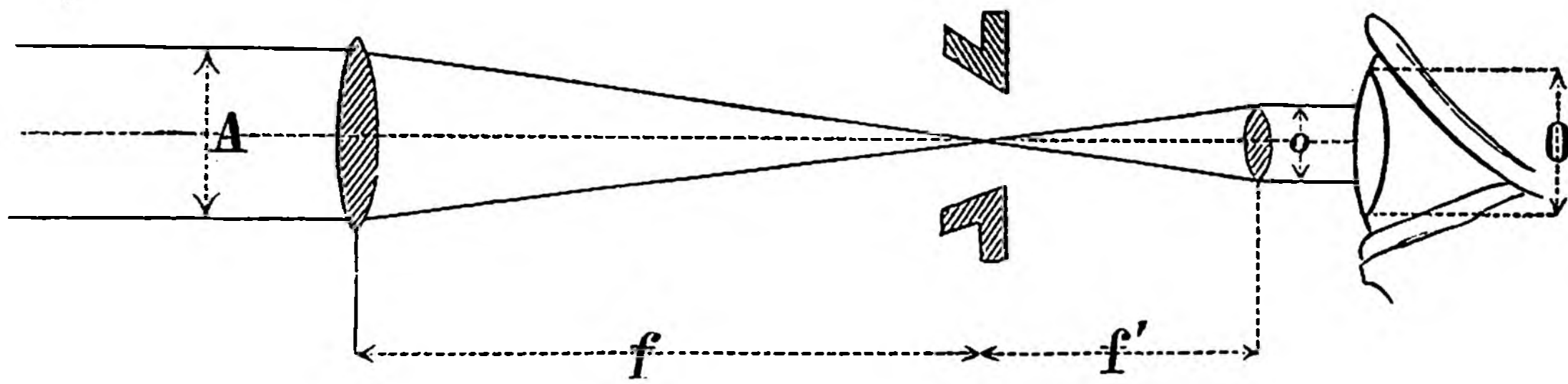
Принимая теперь  $O = 1,58^{mm}$  и обозначая  $\frac{1}{O^2}$  чрезъ  $k$ , имѣемъ:

$$h = k \frac{A^2}{v^2}, \quad (h)$$

при чемъ діаметръ  $A$  объектива долженъ быть выраженъ въ миллиметрахъ. Формула (h) должна давать  $h \leq 1$ .

Изъ этой формулы видимъ, что при одинаковомъ увеличеніи двухъ трубъ, яркость ихъ изображеній *прямо* пропорціональна квадратамъ діаметровъ объективовъ, а при одинаковыхъ діаметрахъ объективовъ она *обратно* пропорціональна квадратамъ увеличеній трубъ.

Черт. 20.



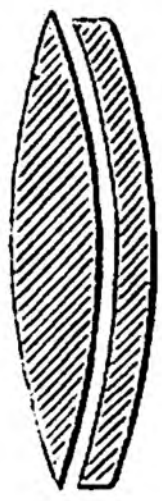
*Ясность* изображенія, даваемого трубою, зависитъ отъ большей или меньшей степени ослабленія въ трубѣ вліянія хроматической и сферической аберрацій (о которыхъ см. въ слѣдующемъ параграфѣ). Для изслѣдованія достоинства трубы въ этомъ отношеніи, помѣщаютъ на различныхъ разстояніяхъ отъ нея какія-нибудь мелкія дѣленія или что-нибудь печатное.

Изъ формулъ (v), (α) и (h) этого § видимъ, что для всякой трубы увеличеніе, поле зрѣнія и яркость изображенія взаимно другъ друга обусловливаютъ, и можно показать, что, при данныхъ фокусномъ разстояніи и діаметрѣ объектива, для увеличенія, поля зрѣнія и яркости изображенія существуютъ опредѣленные предѣлы, превышеніе которыхъ въ одномъ случаѣ влечетъ за собою ослабленіе дѣйствія трубы въ другихъ отношеніяхъ.

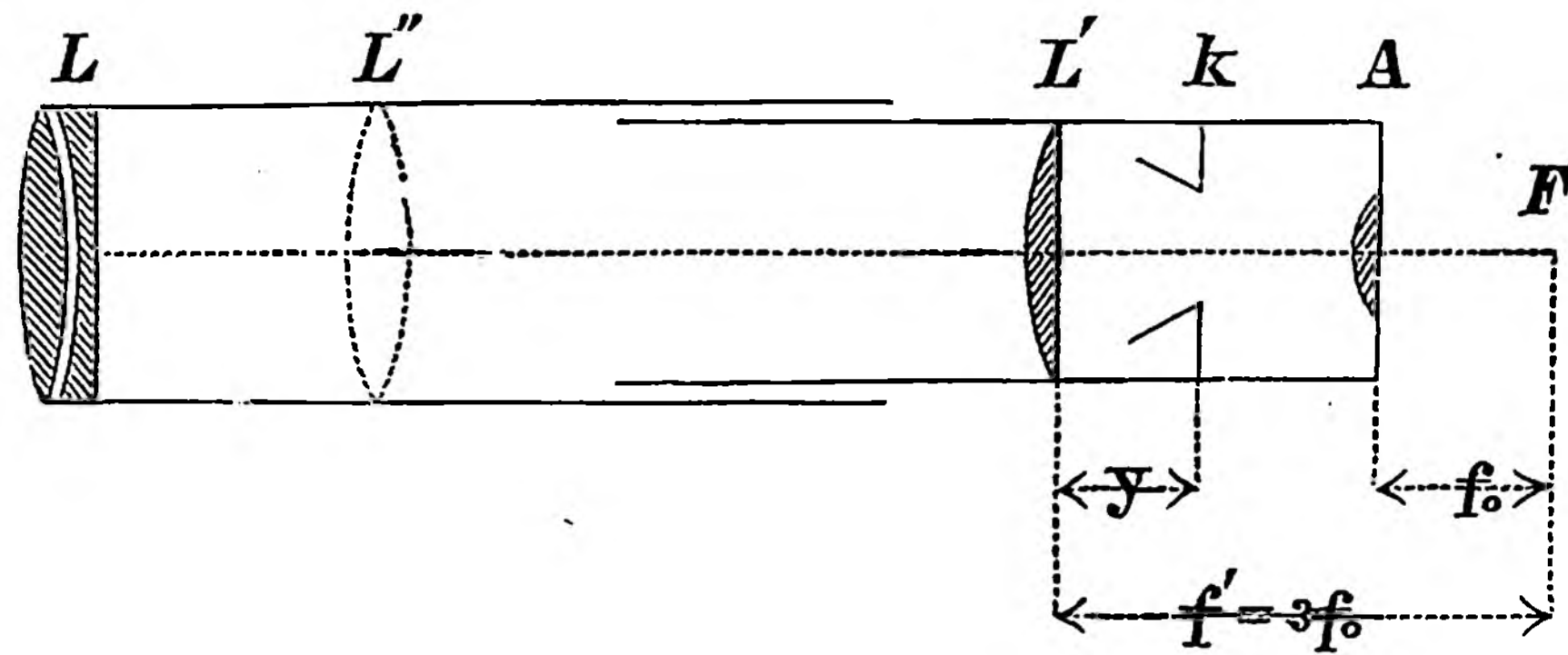
**§ 39.** Разсмотрѣнная труба Кеплера даетъ хорошія изображенія только при весьма ограниченномъ увеличеніи и маломъ поле зрѣнія. Въ противномъ случаѣ, вслѣдствіе того, что лучи, исходящіе изъ какой-нибудь точки предмета, не будутъ уже по преломленіи объективомъ соединяться также въ одной точкѣ и вслѣдствіе *свѣторазсыянія* объектива, т.-е. разложенія луча свѣта на семь цвѣтныхъ лучей (красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синій, фіолетовый), имѣющихъ различныя коэффициенты преломленія, произойдутъ въ трубѣ такъ

называемыя *сферическая* и *хроматическая аберації* <sup>1)</sup>). Для уменьшенія, по возможности, сферической аберації объектива помѣщаютъ въ трубѣ, позади его, черныя кольца — *диафрагмы* <sup>2)</sup>), которыя заграждаютъ лучи, падающіе вблизи краевъ объектива; для уменьшенія же хроматической аберації употребляютъ не простой объективъ, а *ахроматическій* <sup>3)</sup>), состоящій изъ двухъ стеколъ: двойко-выпуклаго (черт. 21), сдѣланнаго изъ кроунгласа <sup>4)</sup>), и выпукло-вогнутого или плоско-вогнутого, сдѣланнаго изъ флинтгласа <sup>5)</sup>), имѣющихъ различные коэффициенты преломленія (кроунгласъ — 1,50, флинтгласъ — 1,66). Оба эти стекла иногда соприкасаются другъ съ другомъ только въ срединѣ (какъ напр. объективы *Фраунгофера* <sup>6)</sup>), а на краяхъ остается небольшой промежутокъ. Чтобы

Черт. 21.



Черт. 22.



этотъ промежутокъ былъ повсюду одинаковъ, между стеклами помѣщаютъ оловянные листочки и, для предохраненія отъ пыли, его заливаютъ канадскимъ бальзамомъ.

Удачнымъ выборомъ радиусовъ сферическихъ поверхностей обоихъ стеколъ объектива можно съ уменьшеніемъ свѣторазсѣянія уменьшить также и сферическую аберацію; такой ахроматическій объективъ называется *апланатическимъ* <sup>7)</sup>).

**§ 40.** Въ физикѣ доказывается, что распредѣленіемъ преломленія свѣтовыхъ лучей на нѣсколько сферическихъ стеколъ уменьшается въ значительной степени сферическая аберація, а удачнымъ выборомъ разстояній между этими стеклами можно почти уничтожить хроматическую аберацію. А потому, для устраненія по возможности хроматической и сферической аберацій въ *окуляръ*, вмѣсто простаго окуляра Кеплера,

1) Отъ лат. слова *ab-errare* — уклоняться, заблуждаться. Греч. слово *chroma* — цвѣтъ, краска.

2) Греч. слово *diaphragma* — перегородка.

3) Отъ греч. словъ: *a* — частица отрицанія и *chroma* — цвѣтъ, краска. Первое ахроматическое стекло было устроено въ 1733 году англичаниномъ *Честеръ* (Chester, Esquire of More-Hall); но это изобрѣтеніе осталось незамѣченнымъ до тѣхъ поръ, пока англійскій оптикъ *Доллондъ*, около 1757 года, началъ изготовлять подобныя стекла.

4) Высшій сортъ англійскаго стекла; отъ *crown* (кроун) — вѣнецъ, корона и *glas* (глас) — стекло.

5) Очень прозрачное и плотное англійское стекло, изготовляющееся изъ кремневой кислоты, кали и свинцовой окиси. Отъ *flint* (флинт) — кремнь и *glas* (глас) — стекло.

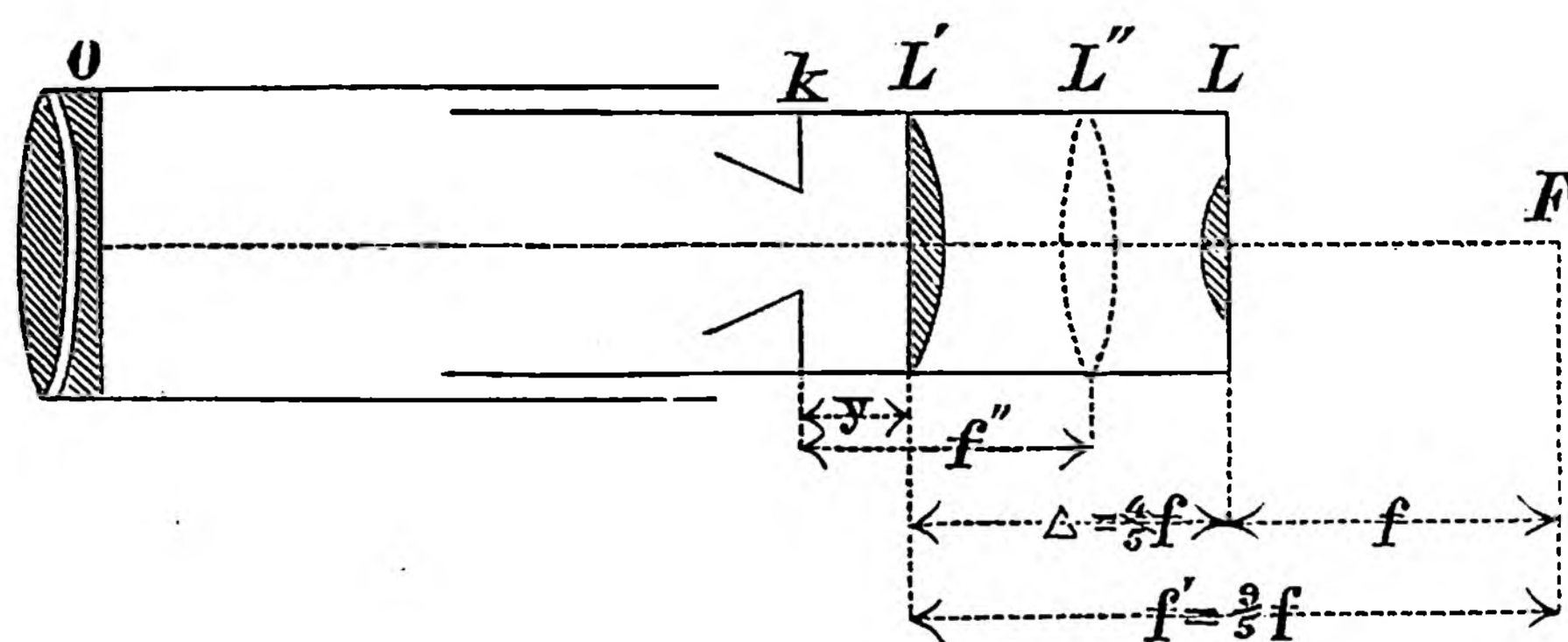
6) Мюнхенскій оптикъ *Иосифъ Фраунгоферъ* род. въ 1787, а ум. въ 1826 г.

7) Отъ греч. словъ: *a* — частица отрицанія и *planesthai* — блуждать.

употребляются такъ называемые *сложные окуляры*, состоящие изъ нѣсколькихъ сферическихъ стеколъ. Особенно часто въ геодезическихъ инструментахъ встрѣчаются: сложный окуляръ *Гюйгенса* (отрицательный) и сложный окуляръ *Рамсдена*<sup>1)</sup> (положительный).

Астрономическая труба съ окуляромъ Гюйгенса, изображенная схематически въ разрѣзѣ на черт. 22, имѣетъ ахроматическій объективъ  $L$  и окуляръ, состоящій изъ двухъ плоско-выпуклыхъ стеколъ  $L'$  и  $A$ , обращенныхъ своими выпуклостями въ сторону объектива. Стекло  $L'$  называется *собирающимъ*, а  $A$  — собственно окуляромъ. Астрономическая же труба съ окуляромъ Рамсдена, изображенная схематически въ разрѣзѣ на черт. 23, имѣетъ тоже ахроматическій объективъ  $O$  и

Черт. 23.



окуляръ, состоящій изъ двухъ плоско-выпуклыхъ стеколъ  $L'$  и  $L$ , обращенныхъ своими выпуклостями другъ къ другу. На обоихъ чертежахъ  $k$  есть диафрагма съ сѣткою.

Въ слѣдующей табличкѣ сопоставлены величины: увеличенія, поля зрѣнія и яркости изображенія трубъ Кеплера, Гюйгенса и Рамсдена.

	Кеплеръ.	Гюйгенсъ.	Рамсденъ.
Увеличеніе . . . . .	$v$	$\frac{2}{3}v$	$\frac{10}{9}v$
Поле зрѣнія . . . . .	$\alpha$	$\frac{3}{2}\alpha$	$\frac{9}{10}\alpha$
Яркость изображенія . . . . .	$h$	$\frac{9}{4}h$	$\frac{81}{160}h$

Изъ нея видны, не принимая во вниманіе простаго окуляра Кеплера, совсѣмъ не употребляющагося, сравнительныя достоинства окуляровъ Гюйгенса и Рамсдена; именно: первый изъ нихъ отличается бѣльшимъ полемъ зрѣнія и бѣльшею яркостью изображенія, тогда какъ второй —

<sup>1)</sup> *Рамсденъ* — англійскій механикъ род. въ 1730 г., а ум. въ 1800 г. Названія отрицательный и положительный окуляры произошли оттого, что окуляру Гюйгенса соотвѣтствуетъ формула  $\frac{1}{f} = -\frac{1}{D} + \frac{1}{d}$ , а окуляру Рамсдена формула  $\frac{1}{f} = \frac{1}{D} - \frac{1}{d}$ . Написавъ обѣ формулы такъ:

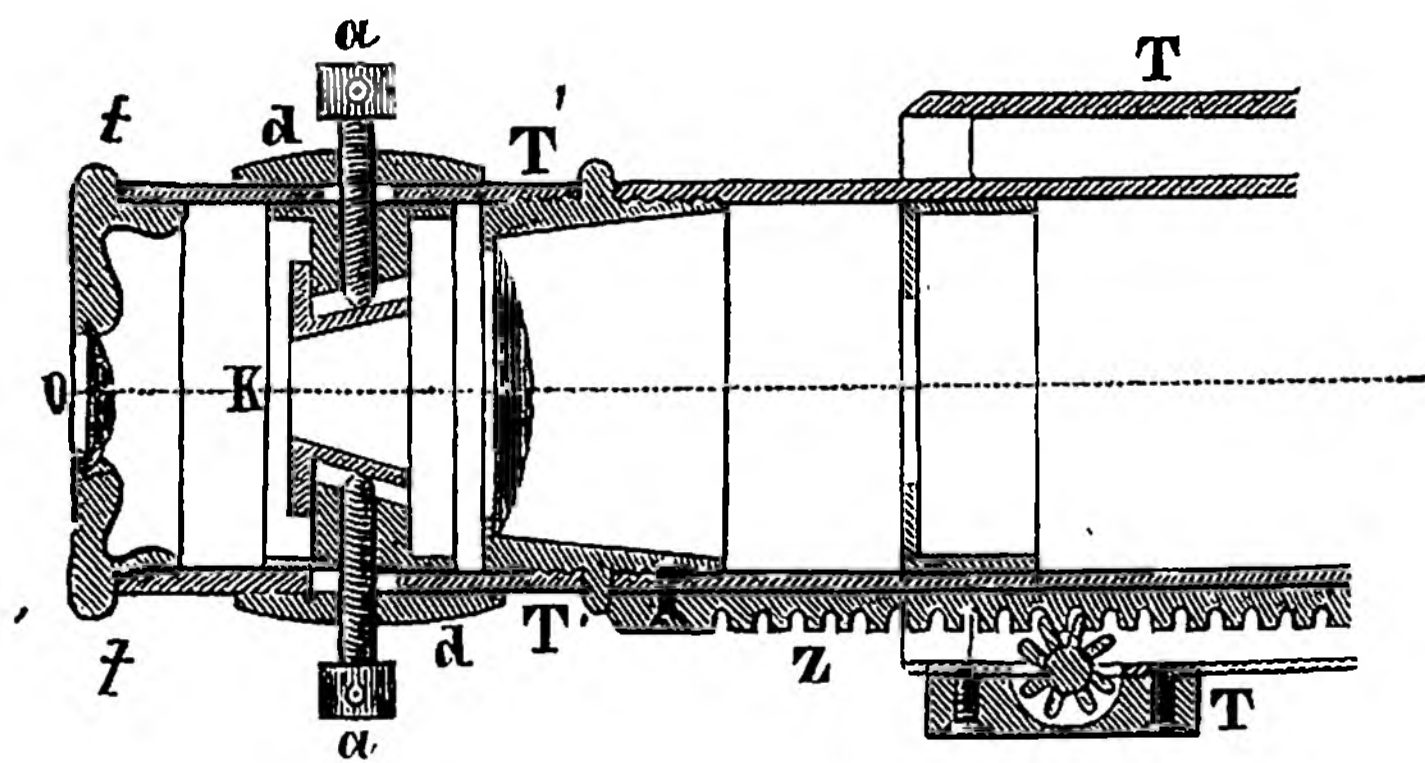
$$-\frac{1}{D} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d} \text{ и } \frac{1}{D} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d},$$

видимъ, что въ первой формулѣ  $D$  и  $d$  отрицательны, а во второй — положительны.

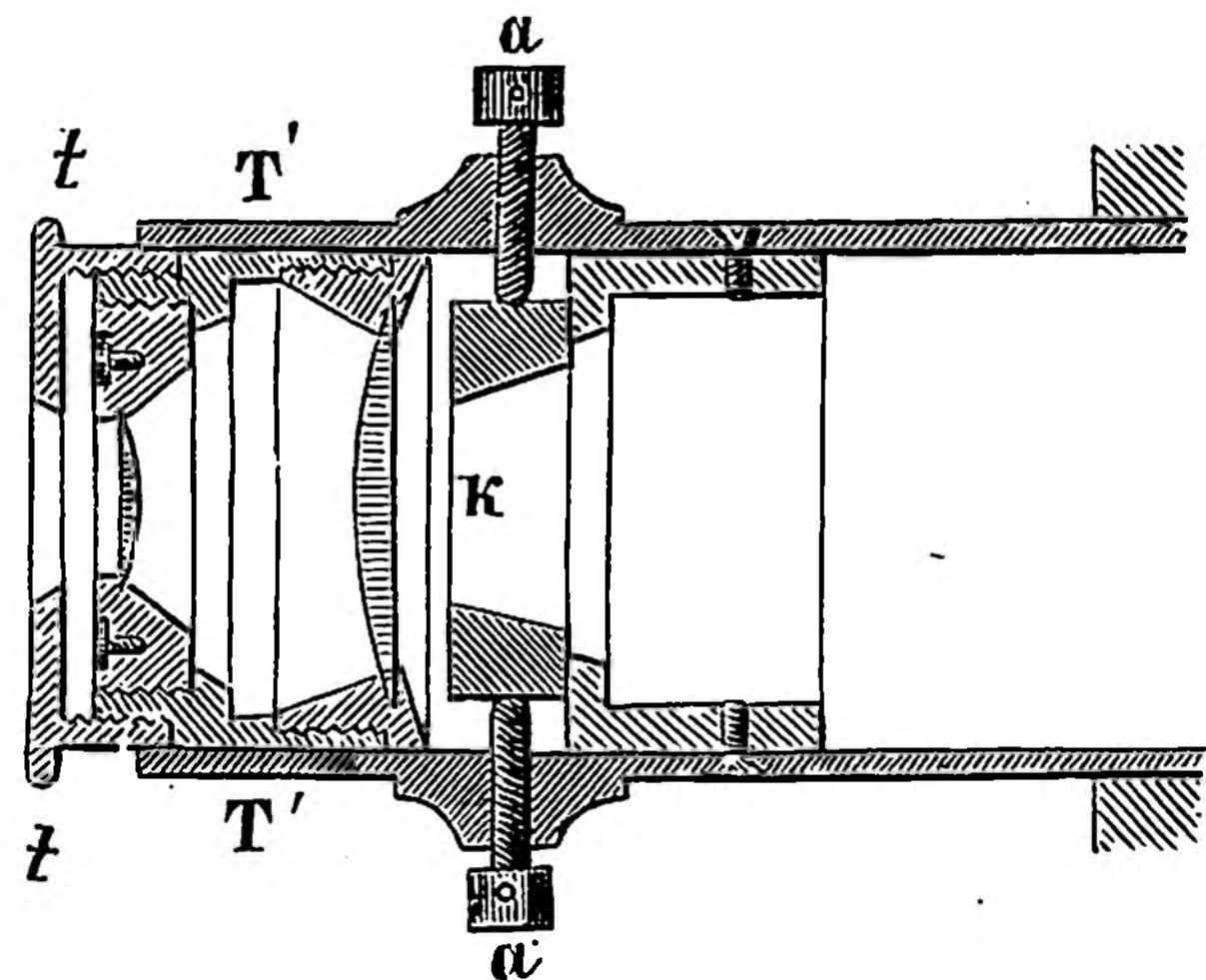
большимъ увеличеніемъ. Если еще прибавить, что окуляръ Рамсдена даетъ болѣе ясное и правильное изображеніе сѣтки, и въ особенности тогда, когда эта послѣдняя состоитъ не изъ двухъ только взаимно-перпендикулярныхъ нитей, а изъ нѣсколькихъ горизонтальныхъ или вертикальныхъ, тогда не трудно видѣть, что окуляръ Гюйгенса слѣдуетъ употреблять въ трубахъ угломерныхъ инструментовъ (каковы: астролябии, теодолиты и т. под.), предназначенныхъ для измѣренія угловъ, т.-е для такого дѣйствія, при которомъ требуется быстрое и точное наведеніе пересѣченія нитей сѣтки на точку предмета; окуляръ же Рамсдена слѣдуетъ употреблять въ трубахъ тѣхъ инструментовъ, которые требуютъ, по своей идее, сѣтку нитей изъ нѣсколькихъ параллельныхъ волосковъ и возможно большее увеличеніе трубы, необходимое для разсматриванія дѣленій, назначенныхъ на брускахъ (рейкахъ), помѣщаемыхъ въ нѣкоторомъ разстояніи отъ инструмента. Впослѣдствіи мы увидимъ, что такіе инструменты суть: дальномѣры и нивеллиры.

На черт. 25 и 26 изображены со всѣми подробностями окуляры астрономическихъ трубъ Гюйгенса и Рамсдена.

Черт. 25.

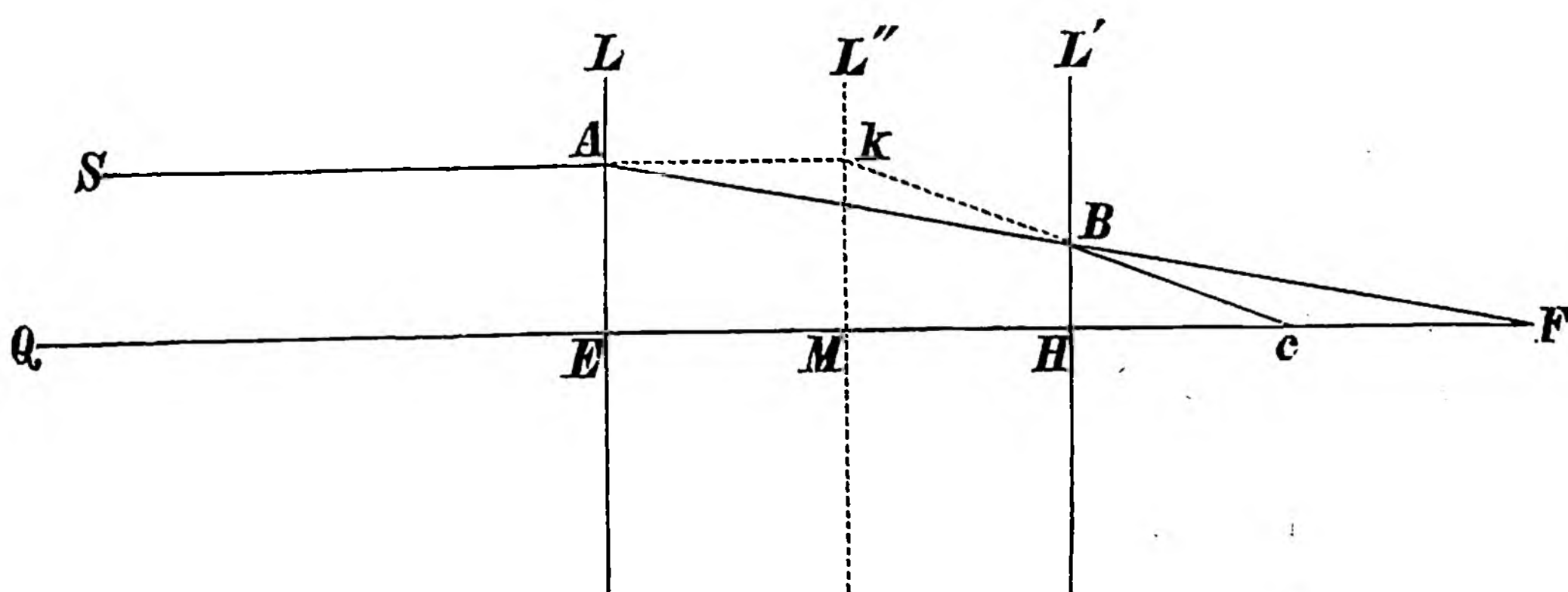


Черт. 26.



Чтобы вывести величины, входящія въ предыдущую таблицку, прослѣдимъ прежде всего преломленіе луча свѣта двумя сферическими стеклами, отстоящими другъ отъ друга на опредѣленномъ разстояніи. Пусть имѣемъ два сферическихъ стекла  $L$  и  $L'$  (черт. 24), оптическія оси которыхъ лежатъ на одной прямой  $QF$  и взаимное разстояніе которыхъ

Черт. 24.



таково, что стекло  $L'$  помѣщается между стекломъ  $L$  и его главнымъ фокусомъ  $F$ . Если лучъ  $SA$ , идущій отъ весьма удаленнаго предмета и параллельный оптической оси стеколъ, по преломленіи своемъ въ  $A$  встрѣтитъ другое стекло въ  $B$ , то онъ пересѣчетъ оптическую ось уже не



въ главномъ фокусѣ  $F$ , а въ нѣкоторой точкѣ  $c$ . Продолживъ теперь  $Bc$  до пересѣченія съ  $SA$  въ точкѣ  $k$ , можемъ вообразить, что  $k$  лежитъ на такомъ сферическомъ стеклѣ  $L''$ , фокусное разстояніе котораго равно  $Mc$ . Воображаемое стекло  $L''$ , имѣющее то же преломленіе, что и оба стекла  $L$  и  $L'$  вмѣстѣ, называется *эквивалентнымъ*<sup>1)</sup>; также называется и фокусное его разстояніе  $f'' = Mc$ . Опредѣлимъ это  $f''$  по даннымъ фокуснымъ разстояніямъ  $f$  и  $f'$  стеколъ  $L$  и  $L'$  и по данному разстоянію  $EH = \Delta$  между тѣми же стеклами. Изъ треугольниковъ  $kMc$  и  $BHc$  имѣемъ:

$$Mc = f'' = Mk \cdot \frac{Hc}{HB};$$

или

$$f'' = Mk \frac{y}{HB}, \text{ гдѣ } y = Hc.$$

А изъ треугольниковъ  $AEF$  и  $BHF$  имѣемъ:

$$AE = MK = f \cdot \frac{BH}{HF}.$$

Вслѣдствіе чего

$$f'' = f \frac{y}{x}, \text{ гдѣ } x = HF.$$

Если точки  $c$  и  $F$  будемъ разсматривать какъ сопряженные фокусы стекла  $L'$ , то на основаніи форм. (1) § 38 можемъ написать:

$$-\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{f'}; \quad (1 \text{ bis})$$

или

$$x(f' - y) = yf'. \text{ Откуда } \frac{y}{x} = \frac{f' - y}{f'}.$$

Слѣдов.

$$f'' = \frac{f}{f'} (f' - y). \quad (f'')$$

Кромѣ того, изъ формулы (1 bis) имѣемъ:

$$y = \frac{xf'}{f' + x},$$

но

$$x = f - \Delta,$$

слѣдов.

$$y = \frac{ff' - f'\Delta}{f + f' - \Delta}; \quad (y)$$

а

$$f' - y = \frac{f'}{f + f' - \Delta}.$$

Подставляя это въ  $(f'')$ , получимъ:

$$f'' = \frac{ff'}{f + f' - \Delta}. \quad (f'' \text{ bis})$$

Примѣнимъ теперь формулу  $(f'')$  и  $(f'' \text{ bis})$  къ трубамъ Гюйгенса и Рамсдена.

1) Отъ лат. словъ: *aequus* — равный и *valere* — стоить, имѣть значеніе.

Въ окулярѣ Гюйгенса оба стекла  $L'$  и  $A$  (черт. 22), вставленные въ одну оправу, имѣютъ общій фокусъ  $F$ , и главные фокусныя ихъ разстоянія  $f'$  и  $f_0$  таковы, что

$$f' : f_0 = 3 : 1,$$

а потому разстояніе  $L'A$  между стеклами  $= \frac{2}{3} f' = 2f_0$ . Свѣтовые лучи, проходящіе чрезъ объективъ  $L$ , встрѣчаютъ на пути своемъ собирательное стекло  $L'$ , по преломленіи которымъ соединяются въ томъ мѣстѣ сложнаго окуляра, гдѣ помѣщено кольцо  $k$  съ сѣткою, и даютъ обратное изображеніе предмета, представляющееся глазу наблюдателя, смотрящаго въ  $A$ , въ увеличенномъ видѣ. Изъ этого видно, что дѣйствіе стеколъ  $L$  и  $L'$  одинаково съ дѣйствіемъ стеколъ  $L$  и  $L'$  чертежа 24, а потому они могутъ быть замѣнены эквивалентнымъ стекломъ  $L''$ , фокусное разстояніе котораго  $f''$  можетъ быть опредѣлено по формулѣ ( $f''$ ), по которой

$$f'' = \frac{f}{f'} (f' - y).$$

Такъ какъ изображеніе предмета на сѣткѣ  $k$  помѣщается почти въ фокусѣ стекла  $A$ , то  $KA = f_0$ . Слѣдоват.

$$y = f_0 = \frac{1}{3} f'.$$

Подставляя это въ ( $f''$ ), получимъ:

$$f'' = \frac{2}{3} f.$$

Отсюда видно, что дѣйствіе трубы съ окуляромъ Гюйгенса одинаково (не принимая, разумѣется, во вниманіе отчетливости изображенія) съ дѣйствіемъ такой трубы съ простымъ окуляромъ, у которой фокусное разстояніе объектива равно  $\frac{2}{3}$  фокуснаго разстоянія объектива трубы съ окуляромъ Гюйгенса. Вслѣдствіе чего, на основаніи формулъ ( $v$ ), ( $\alpha$ ), ( $h$ ) § 38 будемъ имѣть для трубы съ окуляромъ Гюйгенса:

увеличеніе	$v = \frac{2}{3}$	увеличенія	трубы съ прост.	окуляромъ,	
поле зрѣнія	$\alpha = \frac{3}{2}$	поля зрѣнія	»	»	»
яркость изобр.	$h = \frac{9}{4}$	ярк. изобр.	»	»	»

Въ трубѣ Рамсдена главные фокусныя разстоянія  $f'$  и  $f$  стеколъ  $L'$  и  $L$  (черт. 23) удовлетворяютъ пропорціи:

$$f' : f = 9 : 5;$$

а потому разстояніе  $\Delta$  между стеклами  $= \frac{4}{5} f$ . Если допустимъ на время, что на стекло  $L$  падаютъ свѣтовые лучи, почти параллельные оси стекла, то совокупное дѣйствіе стеколъ  $L$  и  $L'$  одинаково съ дѣйствіемъ эквивалентнаго стекла  $L''$ , фокусное разстояніе котораго опредѣляется формулою ( $f''$  bis), т.-е.

$$f'' = \frac{ff'}{f + f' - \Delta},$$

что при  $f' = \frac{9}{5} f$  и  $\Delta = \frac{4}{5} f$  будетъ:

$$f'' = \frac{9}{10} f.$$

Кромѣ того, такъ какъ изображеніе предмета должно получиться при этомъ почти въ фокусѣ стекла  $L''$ , то разстояніе  $y$  сѣтки  $k$  отъ стекла  $L'$  опредѣлится по формулѣ ( $y$ ) и будетъ:

$$y = \frac{9}{30} f = \frac{1}{10} f'.$$

Наоборотъ, чрезъ окуляръ  $L$  можно разсматривать изображеніе предмета, помѣщающагося на сѣткѣ  $k$  на разстояніи  $y = \frac{1}{10} f'$  отъ стекла  $L'$ .

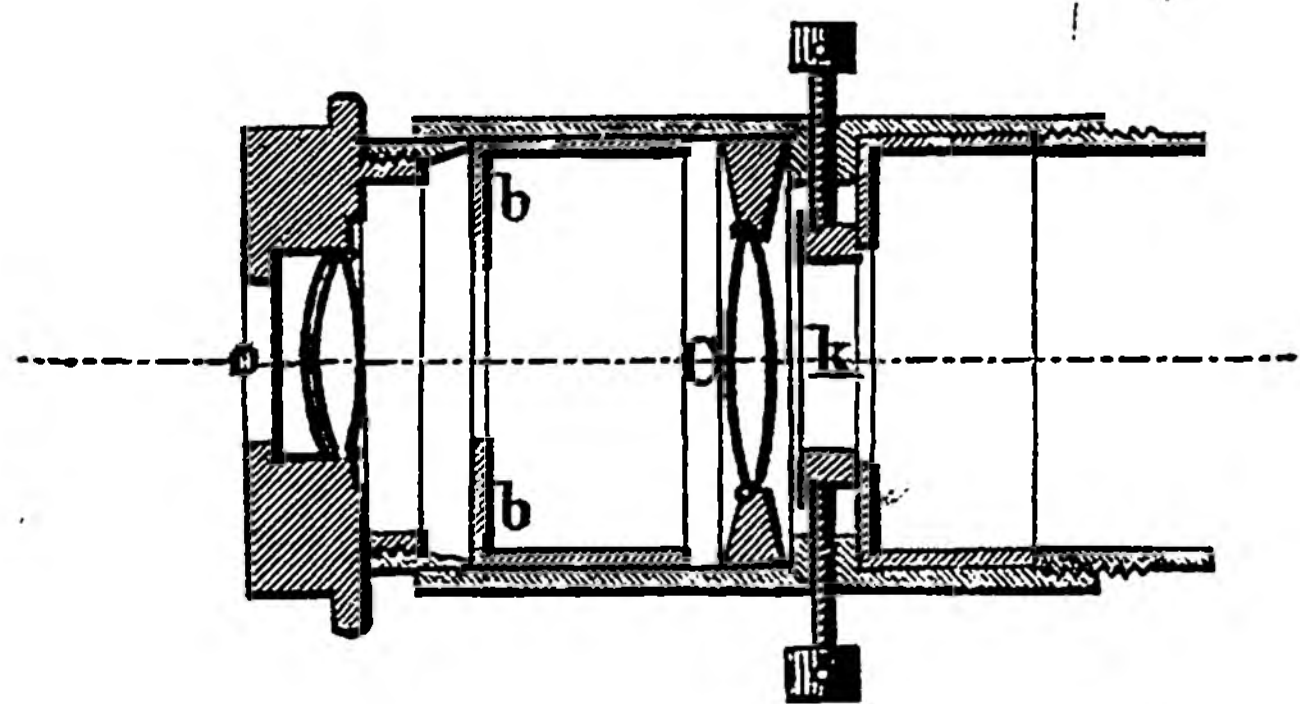
На этомъ основаніи дѣйствіе трубы съ окуляромъ Рамсдена таково: на объективъ  $O$  падаютъ отъ удаленнаго предмета параллельные лучи, дающіе обратное изображеніе предмета на сѣткѣ  $k$ ; а такъ какъ сѣтка помѣщается почти въ фокусѣ стекла  $L''$ , то наблюдатель, смотря въ окуляръ  $L$ , увидитъ обратное увеличенное изображеніе предмета.

Изъ формулы  $f'' = \frac{9}{10} f$  видно, что дѣйствіе трубы съ окуляромъ Рамсдена одинаково (не принимая во вниманіе ясности изображенія) съ дѣйствіемъ такой простой трубы, которая имѣетъ тотъ же объективъ, что и первая труба, а окуляръ съ фокуснымъ разстояніемъ  $= \frac{9}{10}$  фокуснаго разстоянія окуляра  $L$  Рамсдена. Вслѣдствіе чего на основаніи формулъ:  $(v)$ ,  $(\alpha)$ ,  $(h)$  § 38, имѣемъ для трубы съ окуляромъ Рамсдена:

увеличеніе	$v = \frac{10}{9}$	увеличенія	трубы Кеплера,
поле зрѣнія	$\alpha = \frac{9}{10}$	поля зрѣнія	» » ,
яркость изобр.	$h = \frac{81}{100}$	ярк. изобр.	» » .

Кромѣ приведенныхъ выше сложныхъ окуляровъ Гюйгенса и Рамсдена, въ послѣднее время стали употреблять окуляръ *Кельнера*, извѣстный подъ названіемъ *ортоскопическаго*<sup>1)</sup>. Названіе это произошло отъ того, что окуляръ Кельнера даетъ при всякомъ положеніи глаза передъ окуляромъ совершенно правильное плоское, перспективно-вѣрное изображеніе предмета, тогда какъ простой окуляръ (Кеплера) даетъ такое изображеніе только при опредѣленномъ положеніи глаза, а при всякомъ другомъ его положеніи, и въ особенности при смотрѣніи въ окуляръ вкось, изображеніе искривляется. Окуляры Гюйгенса и Рамсдена устраняютъ этотъ недостатокъ только отчасти. Изъ черт. 27, представляющаго разрѣзъ ортоскопическаго окуляра, видно, что въ немъ помѣщается: *во-первыхъ*

Черт. 27.



ахроматическій окуляръ  $o$ , состоящій изъ двояко-выпуклаго кроунгласа и прилегающаго къ нему плоско-вогнутаго флинтгласа, и *во-вторыхъ* — собирательнаго двояко-выпуклаго стекла  $c$ , которое обращено къ объективу поверхностью менѣе выпуклою; передъ собирательнымъ стекломъ находится сѣтка  $k$ . Этотъ окуляръ, напоминающій въ общихъ чертахъ окуляръ Рамсдена, отличается отъ послѣдняго, помимо формы стеколъ,

еще и разстояніемъ стекла  $c$  отъ сѣтки  $k$ , а также и тѣмъ, что между стеклами  $c$  и  $o$  имѣется диафрагма  $bb$ , которой нѣтъ въ окулярѣ Рамсдена. Труба съ ортоскопическимъ окуляромъ имѣетъ то, чрезвычайно важное, преимущество, что при значительно большемъ поле зрѣнія въ ней не замѣчается ни хроматической, ни сферической aberrаций и что, вслѣдствіе возможности употребленія въ ней объектива съ меньшимъ фокуснымъ разстояніемъ, длина трубы можетъ быть значительно уменьшена; такъ напр. труба длиною въ 11—12 дюймовъ съ ортоскопическимъ окуляромъ оказываетъ то же дѣйствіе, что и прежняя труба длиною въ 16 дюймовъ.

§ 41. Астрономическая труба даетъ изображенія предметовъ въ обратномъ видѣ, *земная* же труба даетъ ихъ въ прямомъ видѣ. Въ окулярномъ колѣнѣ земной трубы помѣщается обыкновенно 4 сферическихъ

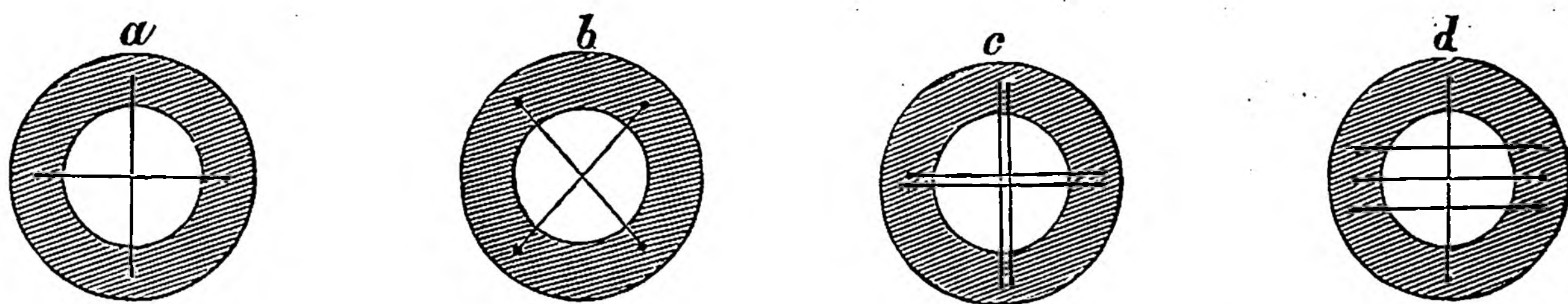
1) Отъ греч. словъ: *orthós* — прямой и *skopeîn* — смотрѣть.

стекла; два изъ нихъ служатъ для того, чтобы повернуть обратное изображеніе предмета, даваемое объективомъ, — иначе, чтобы представить предметъ въ прямомъ видѣ, а два другія — для ахроматизированія втораго изображенія.

Земная труба, при одномъ и томъ же увеличеніи, а слѣдовательно и полъ зрѣнія, значительно длиннѣе астрономической и, имѣя болѣе стеколъ, чѣмъ эта послѣдняя, обладаетъ меньшею ясностью изображеній. На этомъ основаніи для геодезическихъ инструментовъ предпочитаются трубы астрономическія.

§ 42. Раньше уже сказано, что для визирования трубою на точку предмета, въ окулярномъ колѣнѣ трубы находится сѣтка паутинныхъ нитей<sup>1)</sup>, натягиваемая на кольцо *k* діафрагмы (черт. 25 и 26), которая поддерживается четырьмя винтами *aa*, проходящими чрезъ цилиндръ окулярнаго колѣна. Посредствомъ этихъ винтовъ діафрагма, а съ нею вмѣстѣ и сѣтка, можетъ быть передвигаема по двумъ перпендикулярнымъ направленіямъ, что необходимо, какъ увидимъ ниже, для приведенія точки пересѣченія нитей на геометрическую ось трубы. Самая сѣтка состоитъ или изъ двухъ перпендикулярныхъ между собою нитей, какъ указано на черт. 28*a* и 28*b* (при чемъ на черт. 28*a* одна нить

Черт. 28.



сѣтки вертикальна, а другая горизонтальна, тогда какъ на черт. 28*b* обѣ нити наклонны), или изъ двухъ весьма близкихъ между собою горизонтальныхъ и двухъ настолько же близкихъ вертикальныхъ нитей (черт. 28*c*), или же, наконецъ, изъ одной вертикальной и трехъ горизонтальныхъ нитей (черт. 28*d*). Сѣтки *a*, *b* и *c* употребляются въ трубахъ тѣхъ геодезическихъ инструментовъ, которые предназначаются для измѣренія угловъ, а сѣтка *d* — въ трубахъ дальномѣровъ и нѣкоторыхъ нивелировъ. Чтобы сѣтка нитей была видна въ окулярѣ трубы ясно и отчетливо, она должна находиться на опредѣленномъ разстояніи отъ окуляра. Съ цѣлью установки ея на этомъ разстояніи винты *aa* (черт. 25), поддерживающіе діафрагму съ сѣткою въ окулярѣ Гюйгенса, проходятъ чрезъ кольцо *d*, которое обхватываетъ цилиндръ окулярнаго колѣна и которое, вслѣдствіе небольшихъ продольныхъ отверстій, сдѣланныхъ въ этомъ цилиндрѣ, можетъ немного передвигаться вдоль оси трубы, ослабивъ предварительно винтъ, прикрѣпляющій кольцо *d* къ цилиндру. Иногда, впрочемъ, діафрагма съ сѣткою не имѣетъ этого про-

<sup>1)</sup> Первоначально, при замѣнѣ діоптровъ трубою, сѣтка этихъ послѣднихъ дѣлалась или изъ шелковичныхъ нитей, или изъ тонкой металлической проволоки; но, по предложенію *Фонтана* (директоръ музеума во Флоренціи, род. 1730 — ум. 1805 года), съ 1775 года стали употреблять для этой цѣли паутину.

дольнаго передвиженія внутри окулярнаго колѣна Гюйгенса и, для измѣненія разстоянія ея отъ окуляра, этотъ послѣдній вставляется въ особую трубочку  $tt$ , которая можетъ быть передвигаема вдоль оси цилиндра  $T'$ . Въ окулярѣ Рамсдена можно для той же цѣли передвигать окулярную трубочку  $tt$  (черт. 26) внутри окулярнаго колѣна  $T'$ .

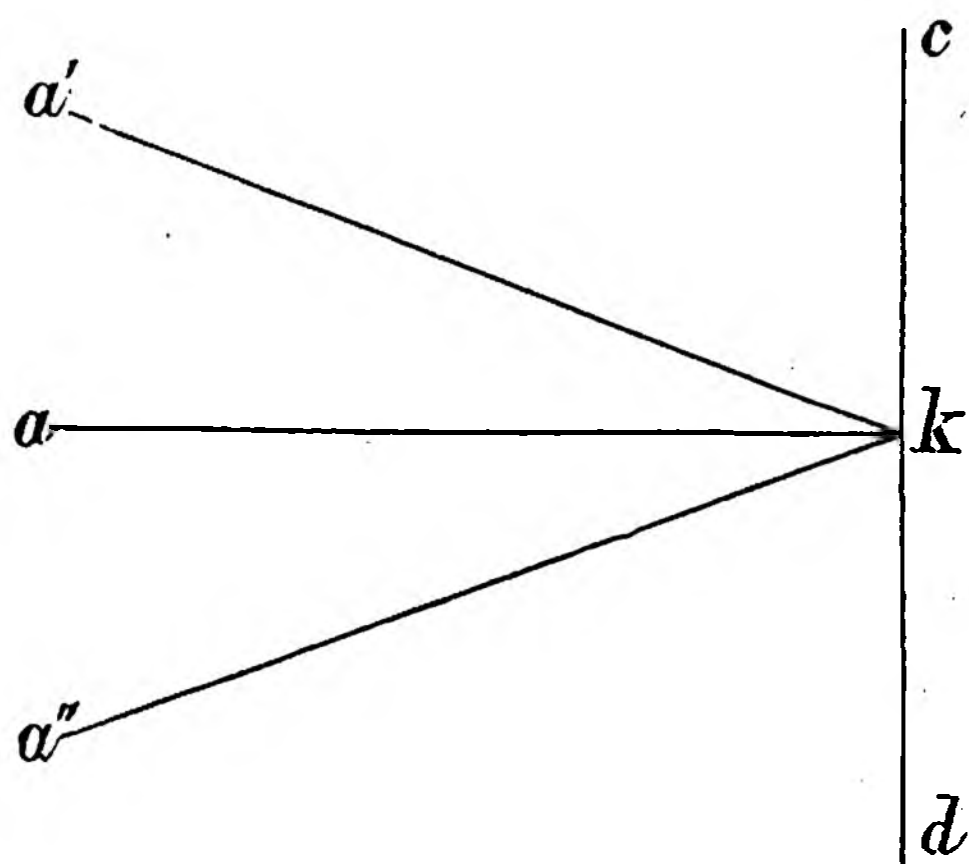
Механикъ Брейтгауптъ въ Касселѣ употребляетъ для сѣтки, вмѣсто паутинныхъ нитей, тонкое стекло, наклееное на кольцо діафрагмы, съ нарѣзанными на немъ тонкими черными чертами. Такая сѣтка, вслѣдствіе большей своей прочности и неизмѣняемости, имѣетъ нѣкоторое преимущество передъ паутинною сѣткою, степень натяженія нитей которой обуславливается присутствіемъ въ воздухѣ большей или меньшей влажности.

§ 43. Передъ употребленіемъ трубы для визированія надо *установить* ее надлежащимъ образомъ. Эта установка состоитъ въ слѣдующемъ: 1) *Нити сѣтки трубы должны представляться наблюдателю, смотрящему въ окуляръ, рѣзкими черными чертами.* Для чего направляютъ трубу или на небо, или на стѣну, выкрашенную бѣлою краскою, и передвигаютъ въ окулярѣ Гюйгенса кольцо  $d$  или трубочку  $tt$  (черт. 25), а въ окулярѣ Рамсдена окулярную трубочку  $tt$  (черт. 26) настолько, чтобы нити сѣтки были видны возможно отчетливѣе. 2) *Изображенія наблюдаемыхъ предметовъ должны быть видны въ окулярѣ трубы съ возможною ясностью.* Для этой цѣли направляютъ трубу на предметъ и, помощью шестерни, зубцы которой входятъ въ зубцы кремольерки  $z$  (черт. 25), вдвигаютъ или выдвигаютъ окулярное колѣно въ объективномъ до возможной ясности изображенія. 3) *Труба не должна имѣть параллакса<sup>1)</sup> нитей.* Разъяснимъ это. Для совершенно яснаго видѣнія предмета въ трубу, изображеніе его, даваемое объективомъ, должно получиться на той же плоскости, на которой помѣщается и сѣтка трубы. Хотя двумя предыдущими установками мы достигли того, что изображенія наблюдаемаго предмета и сѣтки нитей видны ясно, тѣмъ не менѣе эта *кажущаяся* ясность, вслѣдствіе недостаточной чувствительности человѣческаго глаза, не обуславливаетъ еще совершеннаго совмѣщенія плоскостей обоихъ изображеній. Дѣйствительно, изображенія предмета и сѣтки нитей могутъ казаться намъ ясными, между тѣмъ какъ изображеніе предмета, даваемое объективомъ, помѣщается впереди или позади сѣтки нитей. Единственнымъ признакомъ совмѣщенія плоскостей изображенія предмета и сѣтки можетъ служить то, что точка пересѣченія нитей сѣтки должна покрывать одну и ту же точку предмета, не смотря на передвиженія глаза передъ окуляромъ. Въ самомъ дѣлѣ, если изображенія предмета и сѣтки находятся въ одной плоскости, то пересѣченіе нитей  $k$  (черт. 29) будетъ покрывать одну и ту же точку предмета, не смотря на то, что будемъ ли мы смотрѣть изъ точки  $a$  или изъ точекъ  $a'$  и  $a''$ . Если же  $cd$  (черт. 30) будетъ плоскостью, на которой получилось изображеніе сѣтки, а  $eq$  — плоскостью, на которой

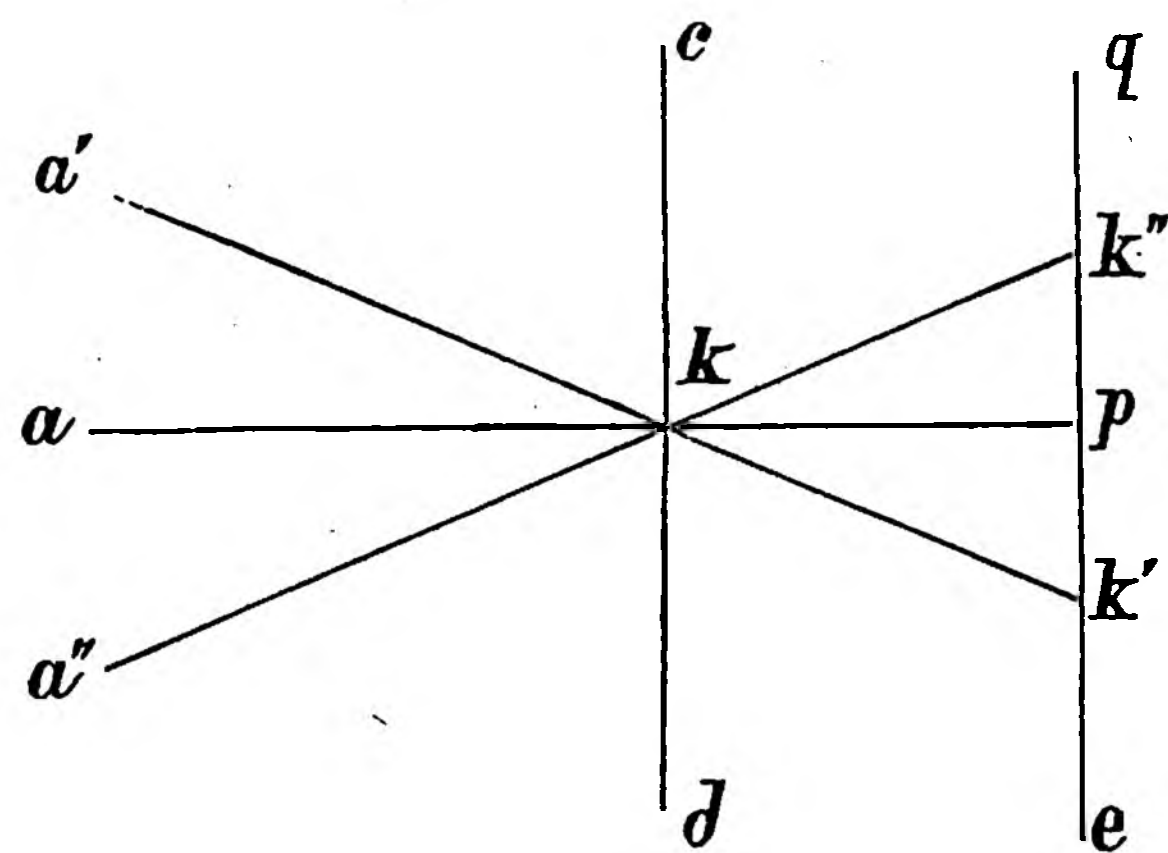
1) Отъ греческаго слова *parallaxis* — перемѣна, измѣненіе, уклоненіе.

помѣщается изображеніе предмета, то при смотрѣніи изъ точки  $a$  пересѣченіе  $k$  нитей будетъ покрывать точку  $p$  предмета; при передвиженіи глаза въ  $a'$ , точка  $k$  будетъ покрывать точку  $k'$  предмета; наконецъ, при передвиженіи глаза въ  $a''$  точка  $k$  будетъ покрывать точку  $k''$  предмета, т.-е. при передвиженіи глаза *вправо* точка  $p$  предмета, а слѣд. и самый предметъ, будетъ казаться передвинувшимся также *вправо*, а при передвиженіи глаза *влево*, предметъ передвинется также *влево*. Другими

Черт. 29.



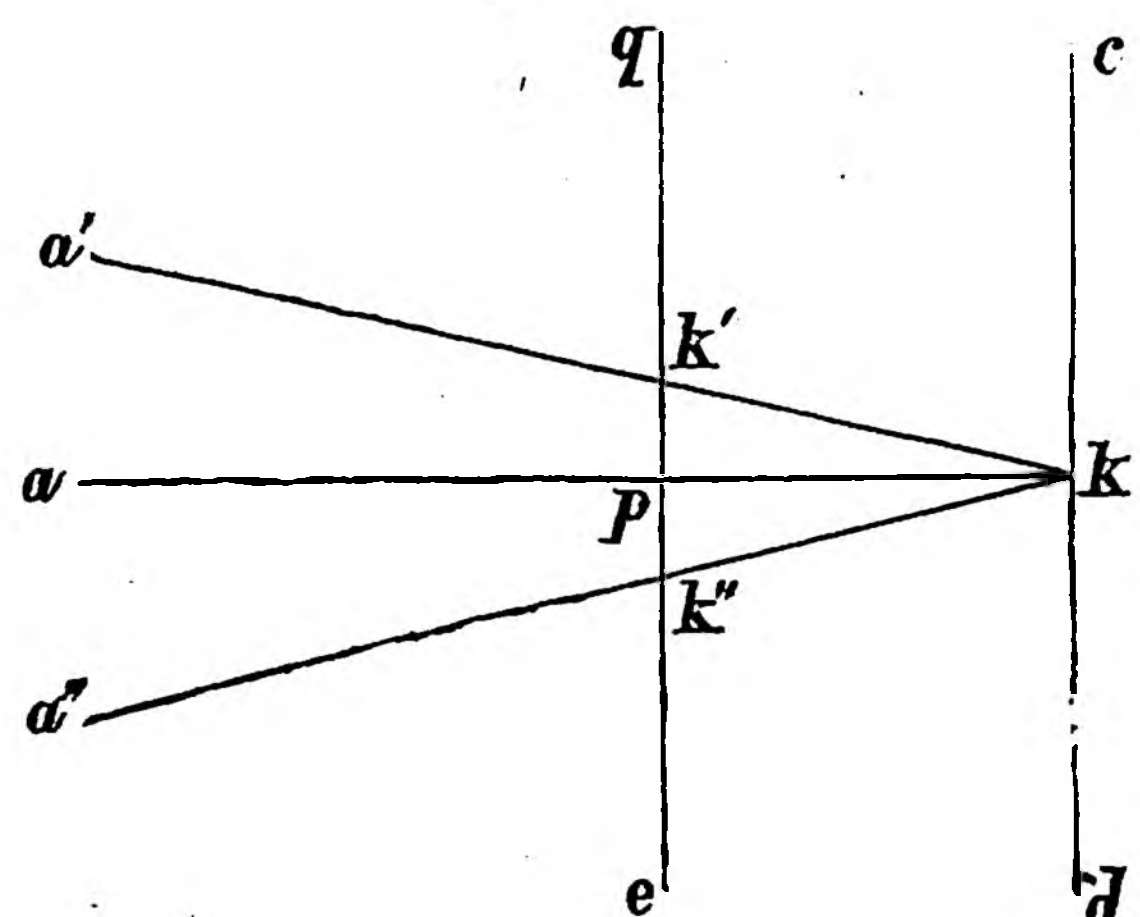
Черт. 30.



словами, въ случаѣ когда изображеніе сѣтки ближе къ глазу, чѣмъ изображеніе предмета, кажущееся передвиженіе изображенія предмета происходитъ *по одному* направленію съ передвиженіемъ глаза. Изъ черт. 31 видно, что въ случаѣ когда изображеніе предмета ближе къ глазу чѣмъ изображеніе сѣтки, кажущееся передвиженіе изображенія предмета происходитъ *по противоположному* направленію съ передвиженіемъ глаза.

Эти кажущіяся передвиженія изображенія предмета, происходящія отъ передвиженія глаза, называются *параллаксомъ* нитей, который, на основаніи предыдущихъ соображеній, при передвиженіи изображенія предмета *по одному* направленію съ передвиженіемъ глаза, уничтожается тѣмъ, что окулярное колѣно выдвигаютъ, посредствомъ шестерни (черт. 25 и 26), въ объективное колѣно  $T$  до тѣхъ поръ пока плоскость  $cd$  (черт. 30) совмѣстится съ плоскостью  $eq$ .

Черт. 31.



Въ томъ же случаѣ, когда при передвиженіи глаза передъ окуляромъ, изображеніе предмета передвигается по направленію *противоположному* съ направленіемъ передвиженія глаза (черт. 31), тогда окулярное колѣно — выдвигаютъ. Если параллаксъ настолько великъ, что не можетъ быть уничтоженъ однимъ только передвиженіемъ окулярнаго колѣна, безъ ущерба въ ясности изображенія предмета, то часть его должна быть уничтожена передвиженіемъ окулярной трубочки  $tt$  (черт. 25 и 26).

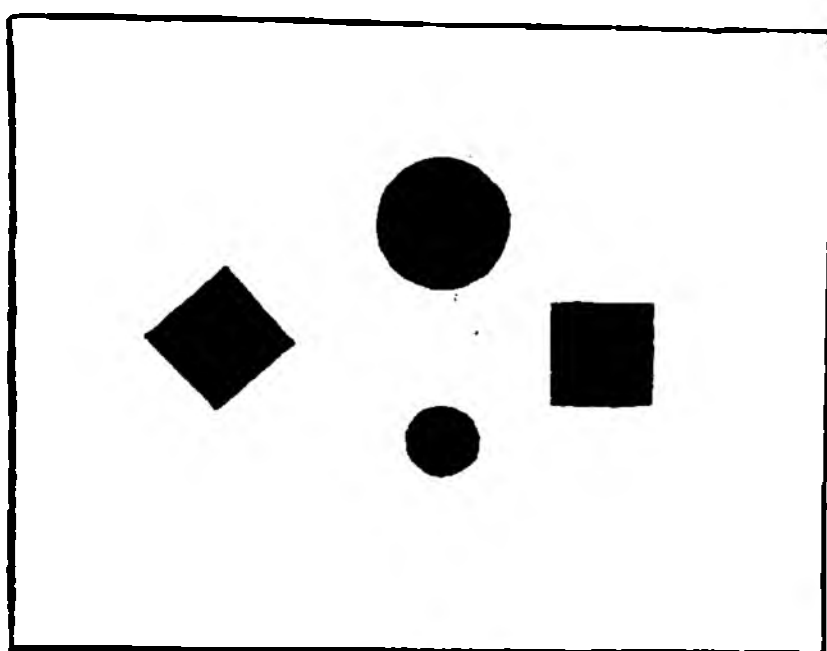
Послѣ установки трубы, можно уже пользоваться ею для визированія на предметы, которое производится такъ: сначала, смотря по верху трубы (т.-е. по направленію образующей ея цилиндра), направляютъ

трубу на требуемый предмет, чѣмъ и приводятъ его въ поле зрѣнія; затѣмъ, поворачиваютъ трубу въ горизонтальной и вертикальной плоскостяхъ настолько, чтобы точка пересѣченія нитей сѣтки покрывала требуемую точку предмета, или настолько, чтобы требуемая точка предмета помѣстилась въ серединѣ квадратика, образованнаго всѣми четырьмя нитями. Если же труба имѣетъ сѣтку дальномѣрную, то на точку предмета наводится точка пересѣченія средней горизонтальной нити съ вертикальною. По совершеніи этого дѣйствія говорятъ, что труба *наведена* на предметъ.

§ 44. Отъ хорошей и исправной трубы требуется выполнение слѣдующихъ условій:

1) *Труба должна давать подобныя и ясныя изображенія предмета.* Лучшій способъ испытанія трубы въ этомъ отношеніи, предложенный *Фраунгоферомъ*, состоитъ въ слѣдующемъ: на доскѣ, выкрашенной бѣлою краскою, рисуютъ правильныя черныя фигуры, напр. квадраты и круги (черт. 32), діаметромъ отъ 15 до 45 милл. (0,5—1,5 дюймовъ) и выставляютъ эту доску на хорошо освѣщенное мѣсто въ разстояніи отъ 50 до 100 метровъ (25—50 саж.) передъ испытуемою трубою. Если при надлежащей установкѣ окуляра, фигуры при разсматриваніи ихъ въ трубу не будутъ казаться черными и на краяхъ своихъ будутъ имѣть сѣроватый оттѣнокъ, или если онѣ окружены каймою красною,

Черт. 32.



желтою, зеленою, или же наконецъ, если фигуры потеряютъ свою правильность и кажутся растянутыми, то труба не даетъ ясныхъ и подобныхъ изображеній и не можетъ употребляться при точныхъ измѣреніяхъ. Если же, наоборотъ, фигуры сохраняютъ свою правильность, представляются черными, на краяхъ ихъ замѣчается легкій голубоватый оттѣнокъ, то труба не оставляетъ желать ничего лучшаго. Голубоватый оттѣнокъ замѣчается даже въ

лучшихъ трубахъ, изготовленныхъ *Фраунгоферомъ*, потому что при вычисленіи объективовъ этихъ трубъ, для лучшаго соединенія цвѣтныхъ лучей, не были приняты во вниманіе лучи темно-голубые и фіолетовые.

2) *Объективъ и окуляръ трубы должны быть хорошо центрированы;* или, иначе, оптическіе центры объектива и окуляра должны лежать на геометрической оси трубы. Если извѣстно, что окуляръ хорошо центрированъ, то, при производствѣ изслѣдованія объектива, выдвигаютъ окулярную трубочку настолько, чтобы нити не были видны, кладутъ трубу на двѣ вилкообразныя подставки, направляютъ ее на какую-нибудь точку предмета и обращаютъ около геометрической оси. Если при этомъ будетъ казаться, что наблюдаемая точка также описываетъ кругъ, то оптическій центръ объектива не лежитъ на геометрической оси; въ противномъ случаѣ, условіе относительно объектива выполнено.

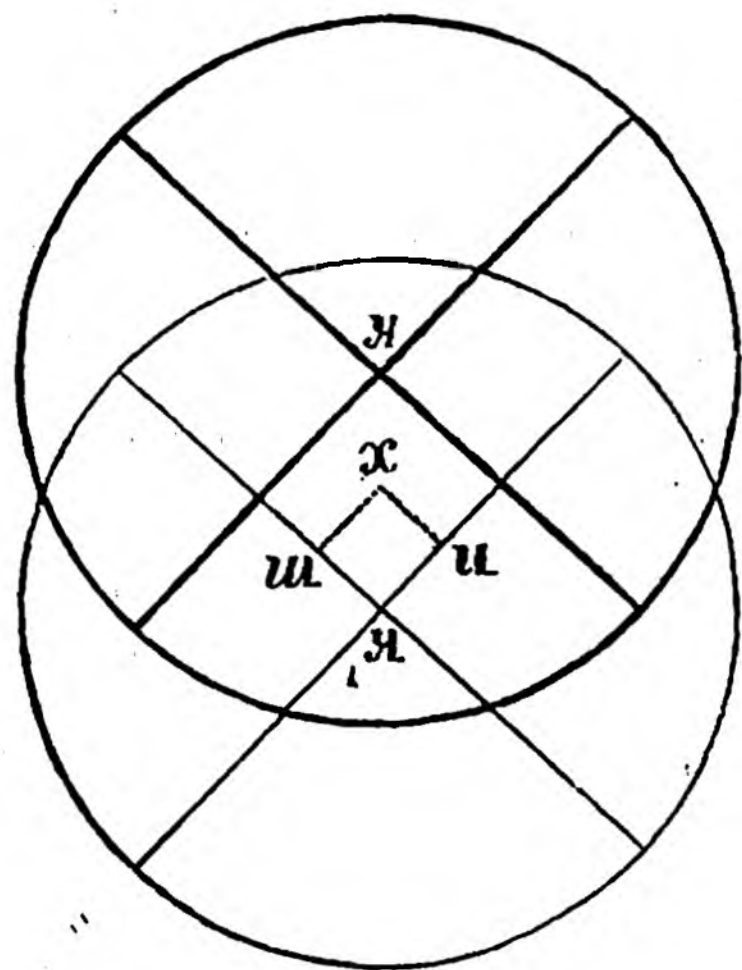
Если окуляръ трубы тоже подлежитъ изслѣдованію, то вывертываютъ окулярное колѣно и, для разсматриванія изображенія предмета, даваемого объективомъ, употребляютъ простой или сложный микроскопъ,

установивъ его предварительно такъ, чтобы онъ не измѣнялъ своего положенія во время вращенія трубы около ея геометрической оси. Послѣ испытанія объектива, снова ввертываютъ окулярное колѣно и производятъ подобнымъ же образомъ изслѣдованіе окуляра.

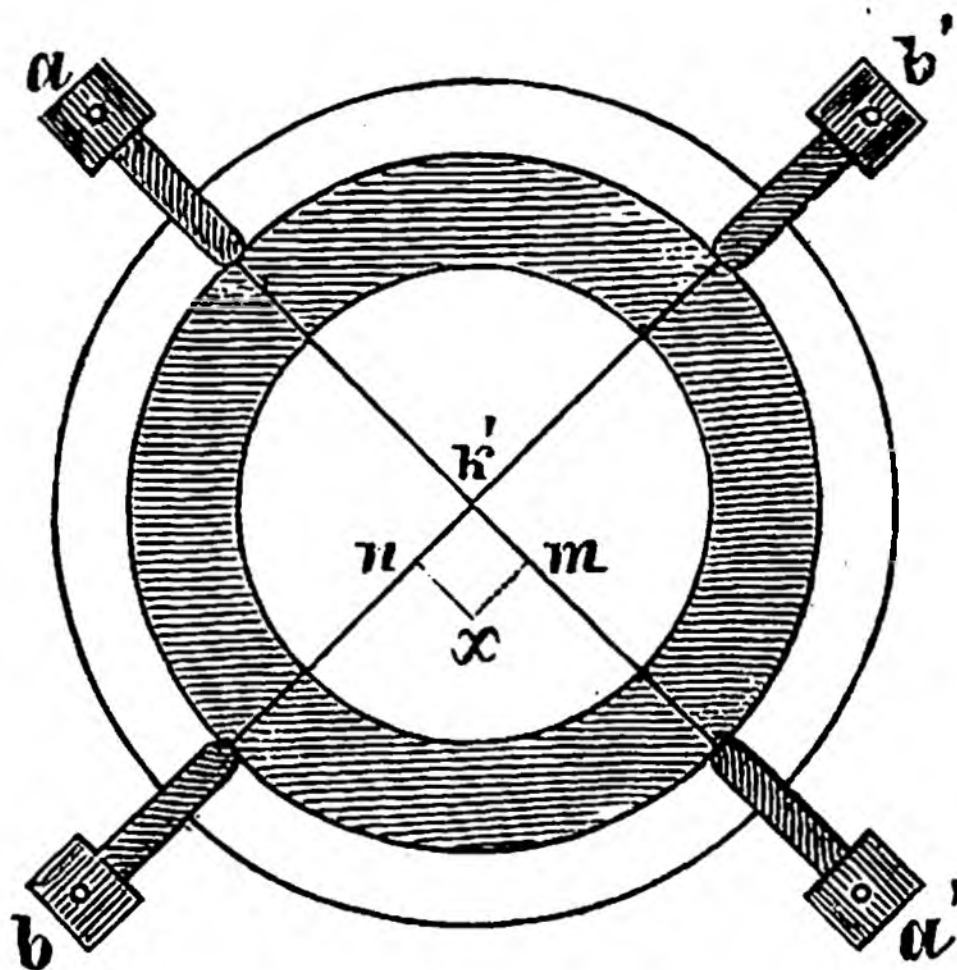
Невыполненіе требуемаго условія объективомъ или окуляромъ можетъ быть исправлено только механикомъ, потому что они не имѣютъ никакихъ для этого приспособленій.

3) Сѣтка нитей должна имѣть вѣрное положеніе въ окулярномъ колѣнѣ, т.-е., во-первыхъ, она должна представляться въ видѣ рѣзкихъ черныхъ чертъ и, во-вторыхъ, точка пересѣченія нитей должна лежать на геометрической оси. Относительно первой половины этого условія все необходимое сказано уже при установкѣ трубы (§ 43), и намъ остается заняться второю половиною; при чемъ будемъ предполагать, что предыдущее условіе въ трубѣ выполнено, — другими словами, что вѣцентренности объектива и окуляра не существуетъ. Трубу, лежащую на двухъ вилкообразныхъ подставкахъ, направляютъ на хорошо освѣщенный предметъ, наводятъ пересѣченіе нитей на какую-нибудь точку его и вращаютъ трубу около ея геометрической оси. Если при этомъ пересѣченіе нитей не будетъ сходиться съ точки, то условіе выполнено; въ противномъ случаѣ — нѣтъ. Дѣйствительно, если пересѣченіе  $k$  (черт. 33) нитей лежитъ на геометрической оси, то, очевидно, при вращеніи трубы оно будетъ покрывать всегда одну и ту же точку предмета. Допустивъ теперь, что  $k$  не лежитъ на геометрической оси,

Черт. 33.



Черт. 34.



которая на нашемъ чертежѣ представляется точкою  $x$ , пересѣченіе нитей, при поворачиваніи трубы около геометрической оси на  $180^\circ$ , перейдетъ въ  $k'$  и будетъ покрывать другую точку предмета. Изъ чертежа видно, что для уничтоженія погрѣшности нужно пересѣченіе нитей передвинуть въ  $x$ ; а такъ какъ кольцо, къ которому прикрѣплена сѣтка, можетъ быть передвигаемо только по направленію нитей, то точку  $k'$  слѣдуетъ передвинуть сначала винтами  $a, a'$  въ  $m$  (черт. 34), потомъ уже винтами  $b, b'$  въ  $x$  или, все равно, сначала винтами  $b, b'$  въ  $n$ , а затѣмъ винтами  $a, a'$  въ  $x$ . Винты  $b, b'$  и  $a, a'$ , поддерживающіе кольцо сѣтки и служащіе для передвиженія его, суть *исправительные*.

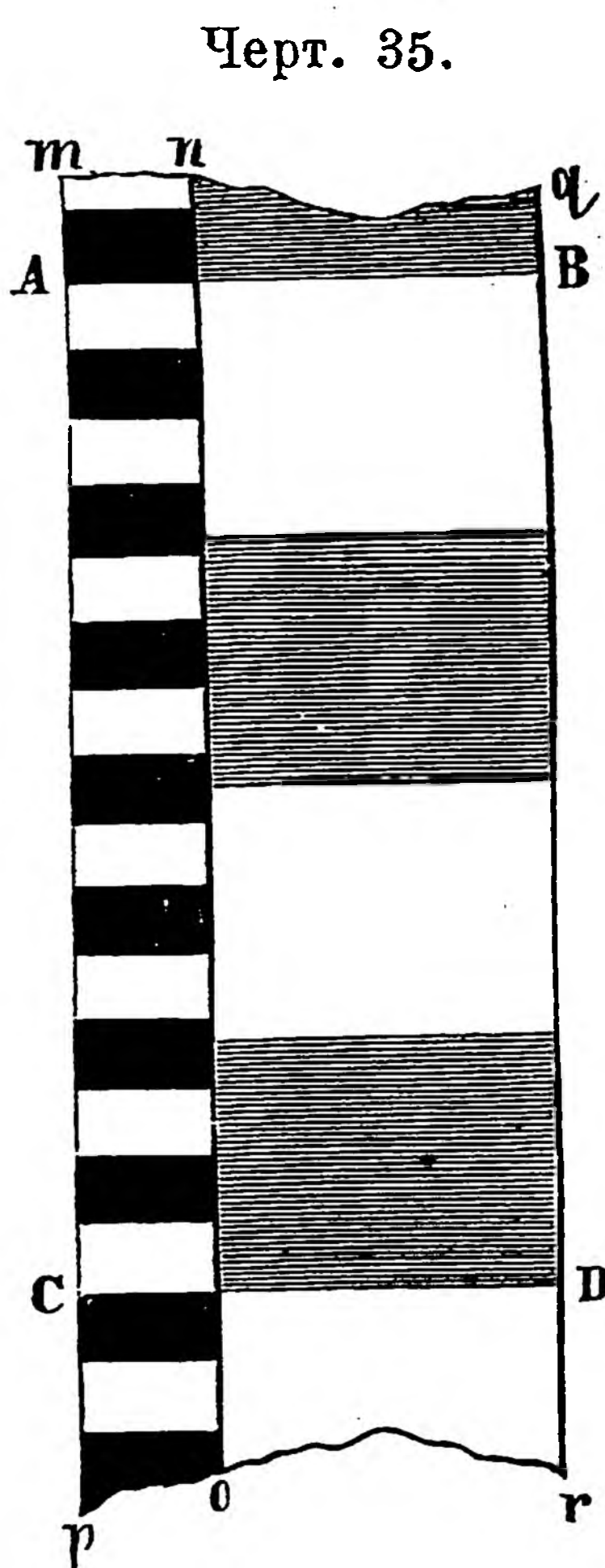


Ясно, что если одна из нитей сѣтки пересѣкаетъ геометрическую ось трубы, то передвиженію подлежитъ только другая нить.

4) *Передвиженія окулярнаго колѣна должны быть правильны*; другими словами, точка пересѣченія нитей, приведенная по предыдущему на геометрическую ось трубы, должна находиться на этой оси при передвиженіи окулярнаго колѣна внутри объективнаго. Такъ какъ съ измѣненіемъ разстоянія предмета отъ трубы, измѣняется и положеніе окулярнаго колѣна внутри объективнаго, то, установивъ сѣтку нитей по предыдущему для весьма удаленнаго предмета, изслѣдуютъ ее подобнымъ же образомъ для разстояній, постепенно уменьшающихся. При правильномъ передвиженіи окулярнаго колѣна, установка сѣтки, вѣрная для удаленнаго предмета, не должна подлежать измѣненію и для предметовъ близкихъ. Неисправность трубы въ этомъ отношеніи можетъ быть уничтожена только механикомъ.

§ 45. Опредѣленіе увеличенія трубы можетъ быть произведено по одному изъ слѣдующихъ способовъ:

а) На разстояніи 20—30 сажень отъ испытуемой трубы ставятъ отвѣсно брусъ (рейку) съ назначенными на немъ дѣленіями въ сотую



долю сажени каждое или нѣсколько крупнѣе. Однимъ глазомъ смотрятъ на рейку въ трубу, а другимъ глазомъ на ту же рейку мимо трубы. Замѣчаютъ то количество дѣленій, которыя для обоихъ глазъ имѣютъ одну и ту же длину. Наконецъ, раздѣливъ число дѣленій, видимыхъ простымъ глазомъ, на число дѣленій, видимыхъ въ трубу и имѣющихъ ту же длину, что и предыдущее число дѣленій, получаютъ въ частномъ увеличеніе трубы. Такъ, если  $mnp$  (черт. 35) есть часть рейки, а  $nqro$  — изображеніе ея, видимое въ трубу, и если число дѣленій рейки, сосчитанное простымъ глазомъ и заключающееся между линіями  $AB$  и  $CD$ , равно 15, а число дѣленій изображенія рейки въ трубѣ, имѣющее ту же длину, равно 4, то  $15/4 = 3\frac{3}{4}$  есть увеличеніе трубы.

б) Способъ опредѣленія увеличенія трубы, предложенный *Фальцемъ*, состоитъ въ сравненіи угла зрѣнія, подъ которымъ виденъ діаметръ солнца простымъ глазомъ, съ тѣмъ угломъ, который составляется лучами, идущими отъ концовъ одного изъ его діаметровъ и прошедшими чрезъ окуляръ трубы. Положимъ, что  $S$  (черт. 36) есть дискъ солнца,  $MN$  — объективъ, а  $mn$  — окуляръ трубы на него направленной. Изображеніе  $rr'$  солнца, полученное въ фокусѣ объектива, даетъ позади окуляра на плоскости, перпендикулярной къ  $Cc$ , свѣтлый кружокъ  $ss$ . Измѣривъ возможно точно длины  $sr = \delta$  и  $ss = k$ , имѣемъ:

$$\operatorname{tg}^{1/2} \alpha = \frac{k}{2\delta}.$$

Такъ какъ увеличеніе  $v$  трубы есть

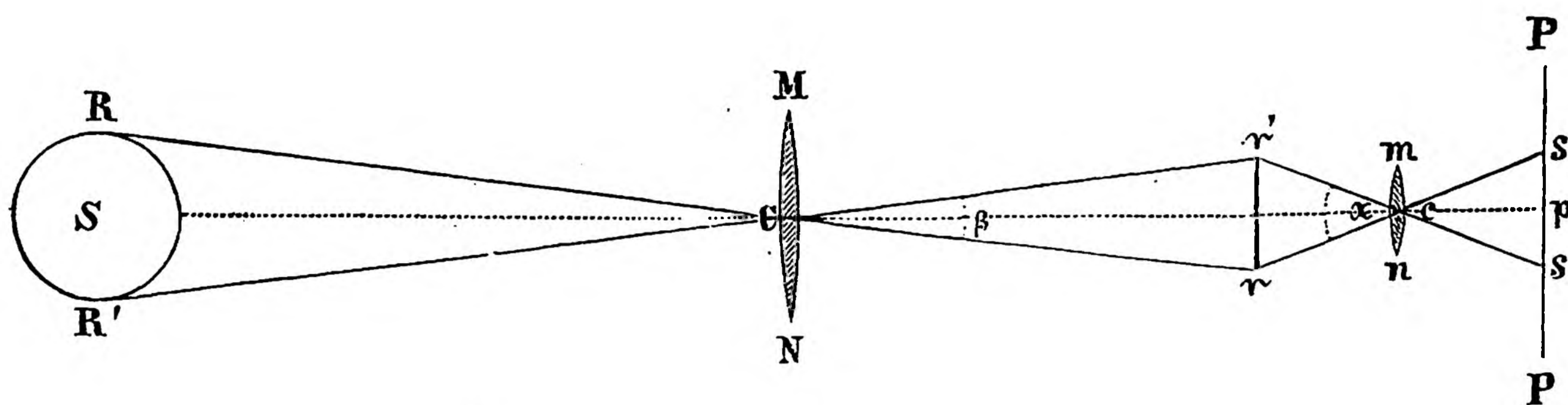
$$\frac{tg\alpha}{tg\beta} \text{ или, по малости } \alpha \text{ и } \beta, \frac{tg^{1/2}\alpha}{tg^{1/2}\beta},$$

то

$$v = \frac{k}{2\delta} \cot^{1/2}\beta.$$

Числовая величина  $1/2 \cot^{1/2}\beta$  колеблется между 105,5 (въ январѣ) и 109,1 (въ юлѣ); въ среднемъ же  $1/2 \cot^{1/2}\beta = 107,3$ . Хотя по астрономическому

Черт. 36.



календарю можно получить числовую величину  $1/2 \cot^{1/2}\beta$  для каждаго дня года, тѣмъ не менѣе въ нашемъ приемѣ можно всегда пользоваться среднею величиною  $= 107,3$ ; такъ что окончательно

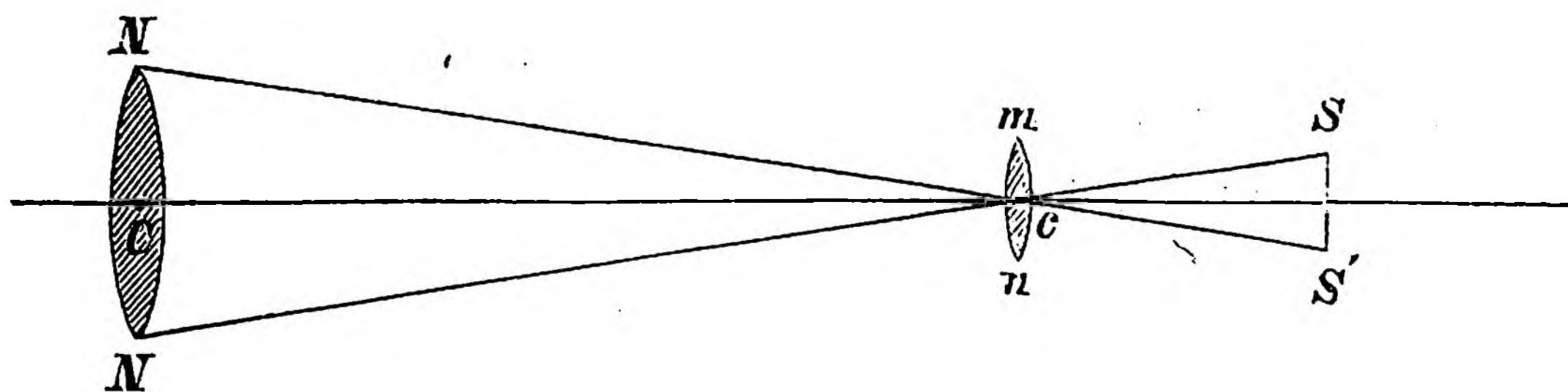
$$v = 107,3 \frac{k}{\delta}.$$

с) Устанавливаютъ окуляръ трубы такъ, чтобы ясно былъ виденъ возможно удаленный предметъ или, еще лучше, звѣзда. Затѣмъ, направивъ трубу на ясное небо, получаютъ позади окуляра свѣтлый кружокъ, представляющій изображеніе объективнаго отверстія. Наконецъ, измѣривъ точно діаметръ  $d$  этого кружка и діаметръ  $D$  объективнаго отверстія, получимъ увеличеніе трубы

$$v = \frac{D}{d}.$$

Въ самомъ дѣлѣ, если NN (черт. 37) есть діаметръ  $D$  объективнаго

Черт. 37.



отверстія трубы,  $SS'$ , равное  $d$ , есть діаметръ его изображенія, то вслѣдствіе установки трубы по чрезвычайно удаленному предмету,  $Cc = f + f'$ , и на основаніи формулы (1) § 38, имѣемъ:

$$\frac{1}{f+f'} + \frac{1}{\delta} = \frac{1}{f'}$$

или 
$$\frac{1}{\delta} = \frac{1}{f'} - \frac{1}{f+f'} = \frac{f}{(f+f')f'}, \text{ или } \frac{f}{f'} = \frac{f+f'}{\delta}.$$

Но изъ треугольниковъ  $NcN$  и  $ScS'$  имѣемъ:

$$\frac{D}{d} = \frac{f+f'}{\delta};$$

поэтому

$$\frac{D}{d} = \frac{f}{f'}.$$

А такъ какъ отношеніе  $\frac{f}{f'}$  есть увеличеніе  $v$  трубы, то

$$v = \frac{D}{d}.$$

§ 46. Изъ изслѣдованій *Штампера* видно, что:

а) точность визированія хорошими астрономическими трубами почти пропорціональна увеличенію ихъ, если только это послѣднее не слишкомъ сильно и тѣмъ не вредитъ яркости изображенія предмета. Вѣроятная ошибка визированія для хорошей трубы съ умѣреннымъ увеличеніемъ равна круглымъ числомъ вѣроятной ошибкѣ визированія діоптрами (15"), раздѣленной на увеличеніе трубы;

б) при слабомъ увеличеніи, трубы безъ ахроматическихъ объективовъ имѣютъ ту же точность визированія, что и трубы съ ахроматическими объективами. При болѣе сильномъ увеличеніи, труба не ахроматизированная имѣетъ меньшую точность визированія, вслѣдствіе присутствія въ ней обѣихъ aberrаций. А потому, для угломерныхъ инструментовъ должны употребляться только ахроматическія трубы;

в) діаметръ объектива долженъ быть не больше того, который необходимъ для полученія достаточно яркаго изображенія предмета;

г) при одинаковомъ увеличеніи, астрономическій окуляръ имѣетъ болѣе высокую точность визированія, чѣмъ земной;

е) для геодезическихъ инструментовъ выгоднѣе употреблять трубы съ слабымъ увеличеніемъ, потому что съ возрастаніемъ увеличенія уменьшается какъ поле зрѣнія, такъ и яркость изображенія трубы; при этомъ увеличивается также и вредное вліяніе сотрясенія воздуха. Вообще, достаточно, если увеличеніе трубы равно фокусному разстоянію объектива, выраженному въ дюймахъ, и, во всякомъ случаѣ, не болѣе двойнаго такого разстоянія.

§ 47. Съемщику, находящемуся въ удаленіи отъ губернскихъ и столичныхъ городовъ, приходится иногда дѣлать въ трубѣ такія исправленія, которыя при обыкновенныхъ обстоятельствахъ производятся механиками. Такія исправленія суть: чистка стеколъ трубы и натягиваніе нитей сѣтки.

Такъ какъ чистка внутреннихъ поверхностей ахроматическаго объектива, сопровождающаяся разъединеніемъ стеколъ, требуетъ при новомъ ихъ соединеніи большаго искусства, то лучше предоставить ее

механику, тѣмъ болѣе, что въ большинствѣ случаевъ можно ограничиться чисткою наружныхъ поверхностей объектива и чисткою остальныхъ стеколъ трубы. *Фраунгоферъ* предлагаетъ производить чистку стеколъ слѣдующимъ образомъ: вывернувъ стекло изъ оправы, вытереть сферическія его поверхности сначала тонкою полотняною тряпкою, смоченною виннымъ спиртомъ, а затѣмъ такою же тряпкою, вымытою въ водѣ, смѣшанною съ истолченнымъ мѣломъ, и высушенною. Мѣловая пыль, служащая для лучшей очистки стекла, снимается осторожно, по достаточномъ удаленіи со стекла грязи, тонкою волосяною кистью; послѣ чего стекло снова вставляется въ свою оправу. Едва ли нужно говорить, что сѣтка нитей во время чистки стеколъ должна быть защищена отъ пыли.

Для сѣтки нитей употребляются, по большей части, паутинныя нити. Лучшую паутину даютъ черныя коротконогіе пауки, встрѣчающіеся почти повсюду. При натягиваніи этихъ нитей на кольцо діафрагмы *k* (черт. 25 и 26), сажаять паука на одну изъ раздвинутыхъ ножекъ циркуля и встряхиваніемъ циркуля заставляютъ его опускаться; при чемъ паукъ даетъ паутину, которую, по мѣрѣ того, какъ онъ опускается, наворачиваютъ на ножки циркуля. Изъ всѣхъ полученныхъ такимъ образомъ нитей выбираютъ при помощи лупы наиболѣе тонкую и одинаковую по толщинѣ. Вынувъ предварительно изъ окулярнаго колѣна діафрагму, на кольцо *k* которой должно натянуть сѣтку нитей, очищаютъ ее отъ пыли и остатковъ прежней сѣтки, и кладутъ діафрагму кольцомъ кверху на подставку цилиндрической формы, діаметръ которой нѣсколько болѣе діаметра нижняго отверстія діафрагмы. Къ концамъ выбранной паутинной нити прикрѣпляютъ воскомъ дробинки и, подержавъ ее надъ парами горячей воды, накладываютъ на кольцо по направленію двухъ, назначенныхъ на немъ діаметрально противоположныхъ, тонкихъ нарѣзокъ; при чемъ дробинки заставляютъ ее вытянуться возможно болѣе. Подобнымъ же образомъ накладываютъ на кольцо и другую нить. Затѣмъ, аккуратно и осторожно укладываютъ нити посредствомъ булавки въ указанные тонкія нарѣзки и прикрѣпляютъ ихъ къ кольцу каплями лака. Наконецъ, когда лакъ засохнетъ, обрѣзаютъ концы нитей и сѣтка натянута. Къ этому надо прибавить, что для сѣтки особенно хороши сухія тонкія паутинныя нити, взятые изъ паучьихъ коконовъ и очищенные отъ пыли, и что для лучшей видимости нитей при натягиваніи ихъ хорошо, если верхъ подставки, на которую накладывается діафрагма, выкрашенъ черною краскою. Для удобства натягиванія нитей сѣтки употребляютъ также небольшой снарядикъ, изображенный на черт. 38. Ножки *a* и *b* вилки раздвигаются и по ослабленіи винта *e* могутъ быть приближаемы къ тумбочкѣ *m*, а потому нить, натянутую между этими ножками, легко привести въ потребное положеніе относительно кольца *k* діафрагмы, положеннаго на тумбочку. Если натягиваемая нить должна составлять опредѣленный уголъ съ нитью уже натянутою на кольцо, то, приведя сначала посредствомъ вращенія вилки и дѣйствія винтами *d* и *e* первую нить въ одну вертикальную

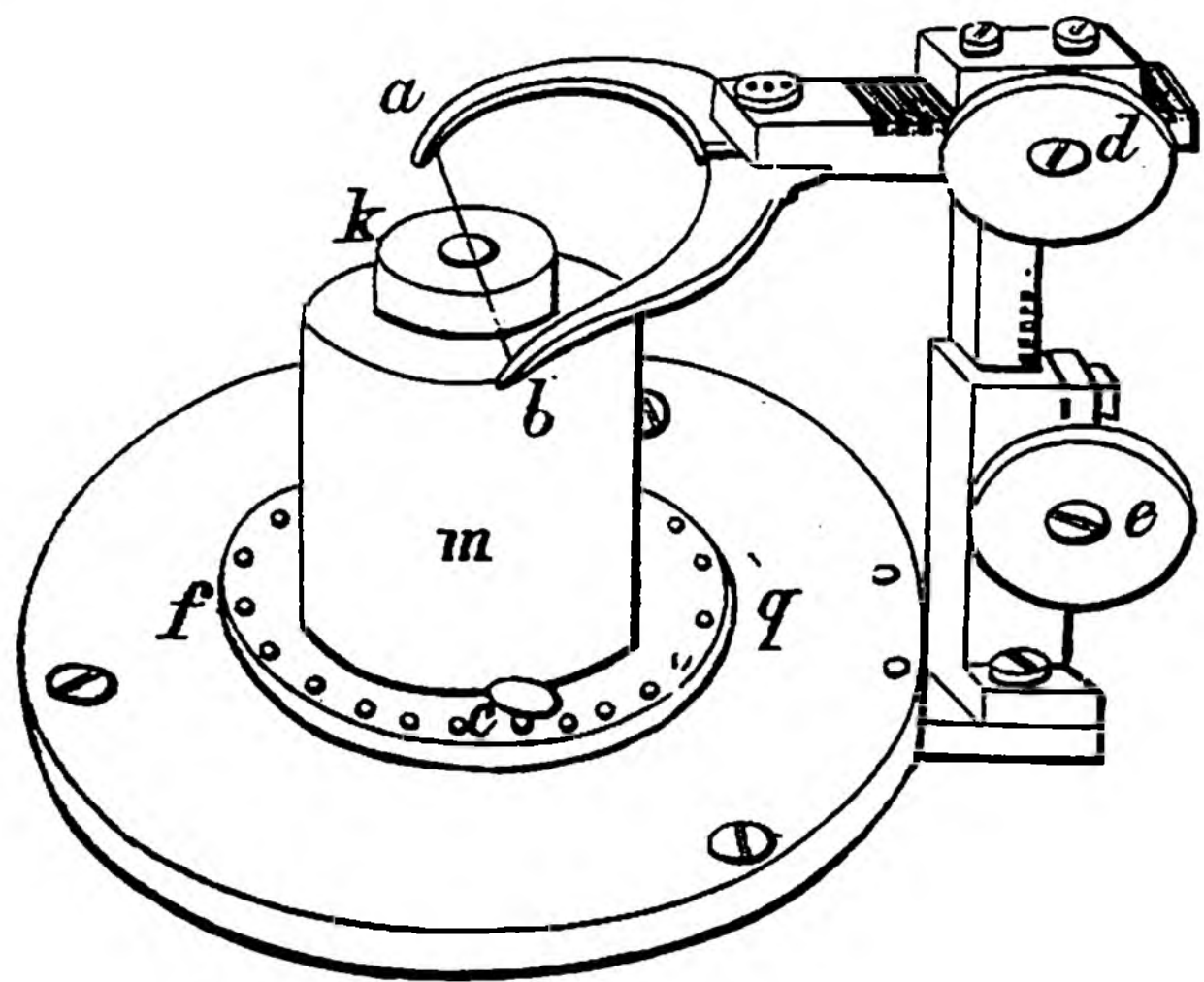
плоскость со второю, поворачиваютъ кружокъ  $fq$ , вынувъ предварительно штифтъ  $c$ , на требуемый уголъ и, по ослабленіи винта  $e$ , опускаютъ нить на кольцо діафрагмы.

## М и к р о с к о п ъ.

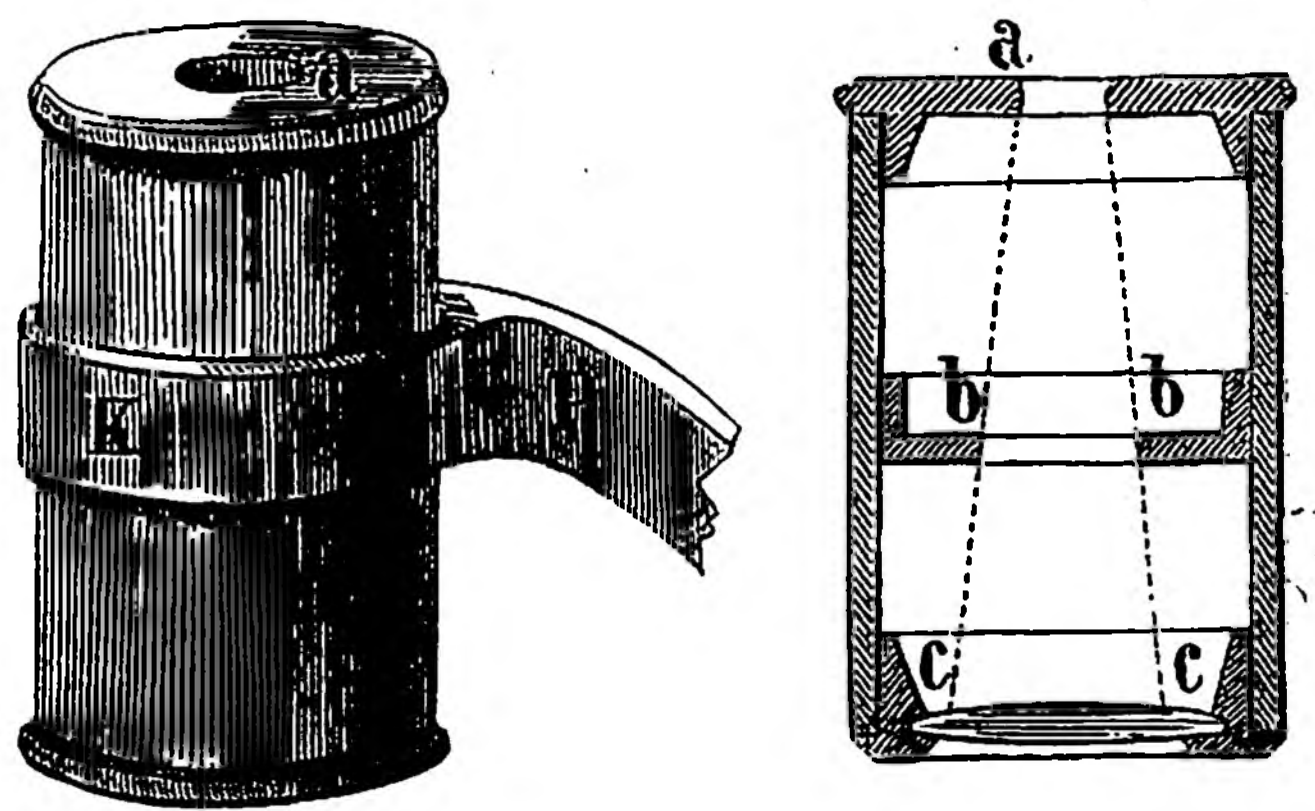
§ 48. Микроскопъ<sup>1)</sup> въ геодезическихъ инструментахъ служитъ для разсматриванія мелкихъ дѣленій.

Простой микроскопъ или лупа<sup>2)</sup> состоитъ изъ одного двояко-выпуклаго стекла съ небольшимъ фокуснымъ разстояніемъ; стекло это вставляется въ оправу. Черт. 39 представляетъ внѣшній видъ и разрѣзъ лупы Вильсона, наиболѣе употребительной при геодезическихъ инструментахъ.

Черт. 38.



Черт. 39.



Двояко-выпуклое стекло  $cc$  помещено въ цилиндрѣ, въ которомъ имѣется глазное отверстіе  $a$  и діафрагма  $bb$ , выкрашенная черною краскою и задерживающая лучи, падающіе близъ краевъ стекла. Чтобы устанавливать лупу по глазу, цилиндръ имѣетъ продольное движеніе въ кольцо, которое прикрѣплено къ изогнутому рычагу, вращающемуся на оси, помещенной на алидадѣ. Къ нижней части лупы прикрѣпляется иллюминаторъ, состоящій изъ рамки со вставленною въ нее пластинкою изъ слоновой кости или матоваго стекла. Лучи свѣта, падая на иллюминаторъ, отражаются отъ него и освѣщаютъ лимбъ и алидаду. Иногда такой иллюминаторъ прикрѣпленъ не къ лупѣ, а прямо къ алидадѣ. Для увеличенія яркости и поля зрѣнія вставляютъ также въ цилиндръ лупы, вмѣсто одного двояко-выпуклаго стекла, два плоско-выпуклыхъ, находящихся на нѣкоторомъ разстояніи другъ отъ друга.

Если предметъ  $PQ$  (черт. 40) помещается между стекломъ и однимъ изъ его фокусовъ  $F$ , то изображеніе его  $pq$  получится по ту же сторону стекла, на которой находится и самый предметъ. Обозначивъ разстояніе предмета  $PQ$  и его изображенія  $pq$  отъ стекла соответственно чрезъ  $D$  и  $d$ , а фокусное разстояніе стекла — чрезъ  $f$ , основная формула

1) Отъ греч. словъ: *mikrós* — маленький и *skopēn* — смотрѣть.

2) Отъ франц. слова *loupe* — сферическое увеличительное стекло.

(1) § 38, принимая во вниманіе, что  $d$  въ настоящемъ случаѣ отрицательно, будетъ

$$\frac{1}{D} - \frac{1}{d} = \frac{1}{f}.$$

Разстояніе изображенія  $pq$  отъ фокуса  $F'$ , гдѣ помѣщается глазъ, есть разстояніе яснаго зрѣнія, равное среднимъ числомъ 9 дюймамъ. Обозначивъ его чрезъ  $w$ , имѣемъ

$$d = w - f,$$

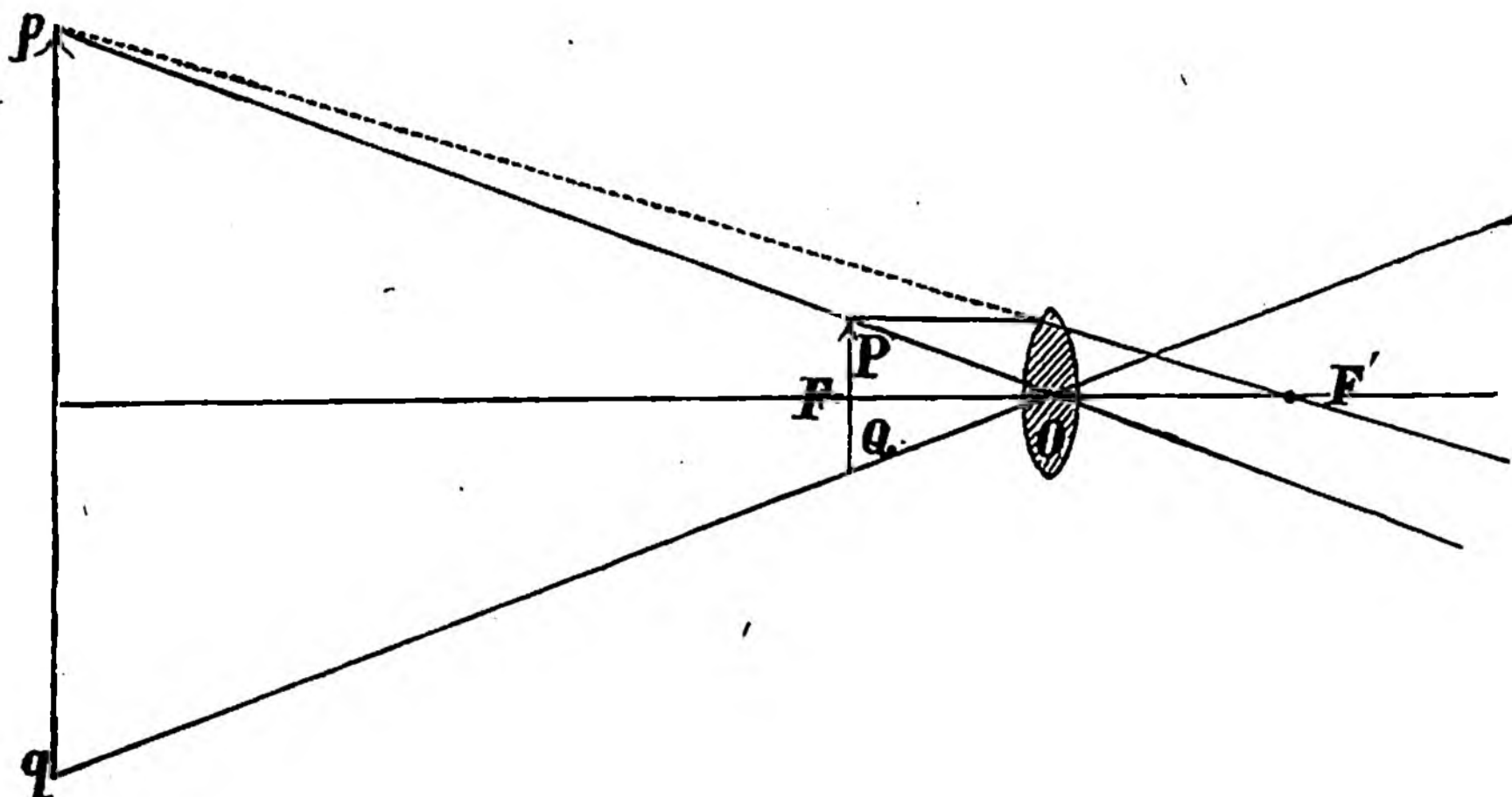
а подставивъ это въ предыдущее уравненіе, получимъ:

$$\frac{1}{D} = \frac{1}{f} + \frac{1}{w-f} = \frac{w}{(w-f)f}.$$

$$D = f \frac{w-f}{w} = f \left(1 - \frac{f}{w}\right).$$

Откуда видно, что  $D$  возрастаетъ съ увеличеніемъ  $w$ , т.-е. въ случаѣ дальнорюкаго глаза лупа стоитъ дальше отъ предмета, чѣмъ для близорукаго глаза.

Черт. 40.



Увеличеніе лупы, такъ же какъ и для трубы, есть отношеніе угла, подъ которымъ предметъ виденъ въ лупу, къ углу, подъ которымъ онъ виденъ простымъ глазомъ. Но уголъ, подъ которымъ предметъ виденъ въ лупу,  $= \frac{pq}{w \sin 1''}$ , а уголъ, подъ которымъ онъ былъ бы виденъ простымъ глазомъ, если бы помѣщенъ былъ на разстояніи  $w$  яснаго зрѣнія, есть  $\frac{PQ}{w \sin 1''}$ ; поэтому увеличеніе  $v$  лупы будетъ

$$v = \frac{pq}{w \sin 1''} : \frac{PQ}{w \sin 1''} = \frac{pq}{PQ}.$$

Изъ черт. 40 имѣемъ:

$$\frac{pq}{PQ} = \frac{d}{D};$$

слѣдов.

$$v = \frac{d}{D}.$$

Подставивъ сюда выражения для  $d$  и  $D$ , выведенныя выше, имѣемъ:

$$v = \frac{w - f}{f \frac{w - f}{w}} = \frac{w}{f};$$

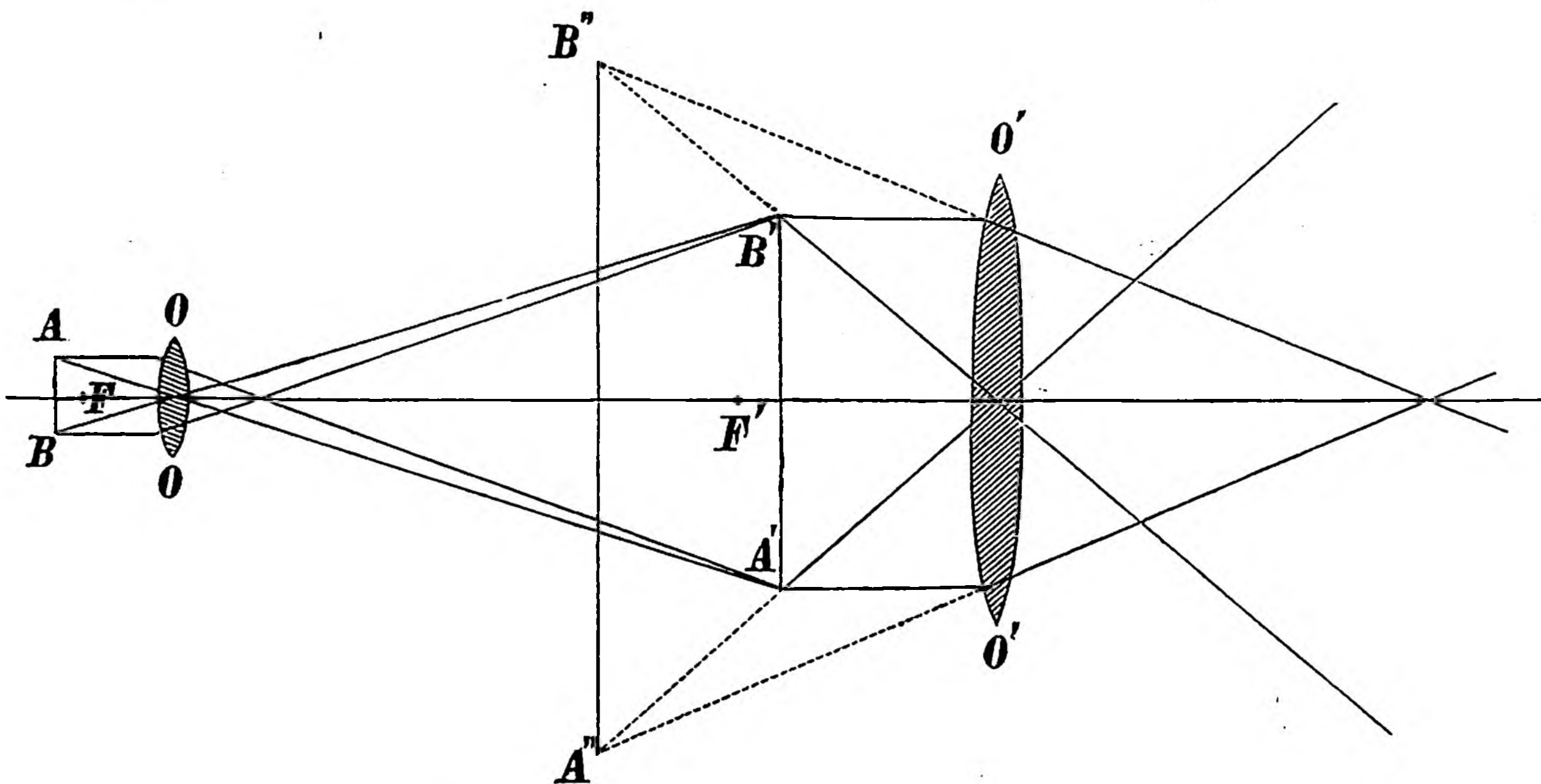
или, среднимъ числомъ,

$$v = \frac{9 \text{ дюйм.}}{f}.$$

Отсюда видно, во-первыхъ, что увеличеніе лупы обратно пропорціо-нально фокусному ея разстоянію и, во-вторыхъ, что только такое двояко-выпуклое стекло можетъ служить лупою, фокусное разстояніе котораго менѣе разстоянія яснаго зрѣнія.

*Сложный микроскопъ* въ простѣйшемъ видѣ состоитъ изъ двухъ двояко-выпуклыхъ стеколъ: объектива  $OO$  и окуляра  $O'O'$  (черт. 41); при чемъ объективъ имѣетъ меньшіе размѣры и значительно меньшее фокусное разстояніе, чѣмъ окуляръ. Предметъ  $AB$ , отстоящій отъ объектива на разстояніи болѣе фокуснаго и менѣе двойнаго фокуснаго,

Черт. 41.



дастъ по другую сторону объектива дѣйствительное, обратное и увеличенное изображеніе  $A'B'$ ; Для большаго еще увеличенія этого изображенія, ставятъ окуляръ такъ, чтобы оно было ближе къ стеклу, чѣмъ главный фокус  $F'$  окуляра. Тогда глазъ, помѣщенный за окуляромъ, увидитъ мнимое, то же обратное и увеличенное изображеніе  $A''B''$ . Слѣдовательно, окуляръ дѣйствуетъ какъ простая лупа, увеличивая изображеніе  $A'B'$ , которое, въ свою очередь, есть увеличенное объективомъ изображеніе предмета  $AB$ .

На основаніи этого, увеличеніе сложнаго микроскопа есть увеличеніе объектива, умноженное на увеличеніе окуляра.

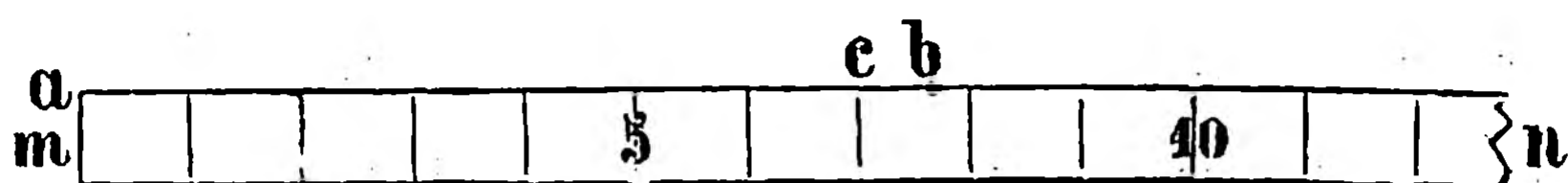
Для опредѣленія увеличенія микроскопа смотрятъ въ него однимъ глазомъ на какія-нибудь мелкія дѣленія, а другимъ глазомъ на болѣе крупныя дѣленія того же наименованія, помѣщенныя на разстояніи яснаго зрѣнія, и сравниваютъ величины этихъ дѣленій; отношеніе ихъ и дасть увеличеніе микроскопа. Такъ наприм., если дѣленіе въ 0,25

линіи кажется въ микроскопъ въ 4 линіи, то увеличеніе микроскопа  $= \frac{4}{0,25} = 16$ .

### Верньеръ.

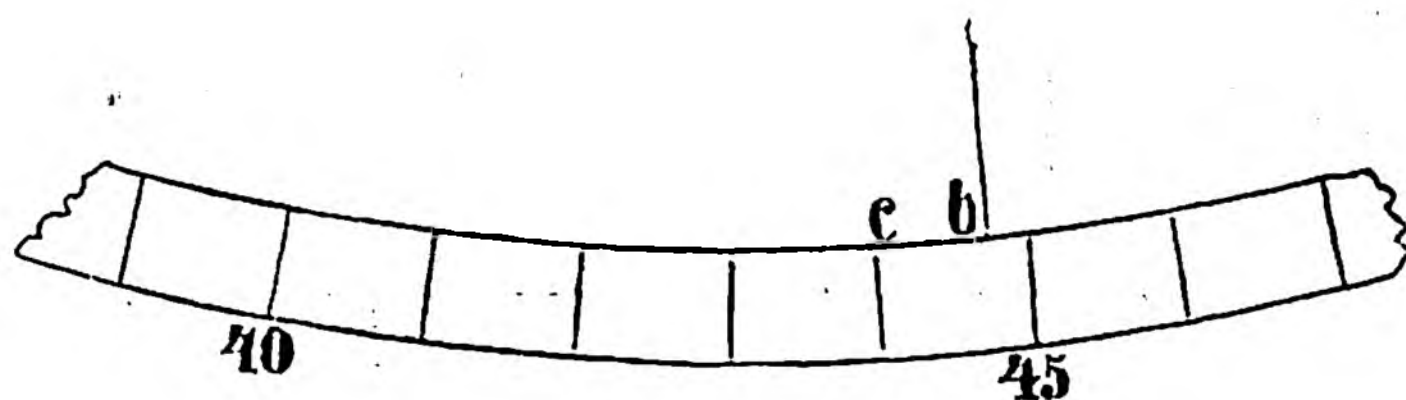
§ 49. Верньеръ или иначе ноніусъ<sup>1)</sup> есть построение, служащее для опредѣленія долей дѣленій, назначенныхъ или на линейкѣ, или на лимбѣ. Такъ напр., если при измѣреніи длины линіи  $ab$  (черт. 42) какою-нибудь единицею мѣры, раздѣленною на мелкія части, совмѣстимъ точку  $a$  съ однимъ изъ концовъ мѣры, то точка  $b$  не совмѣстится, говоря вообще, ни

Черт. 42.



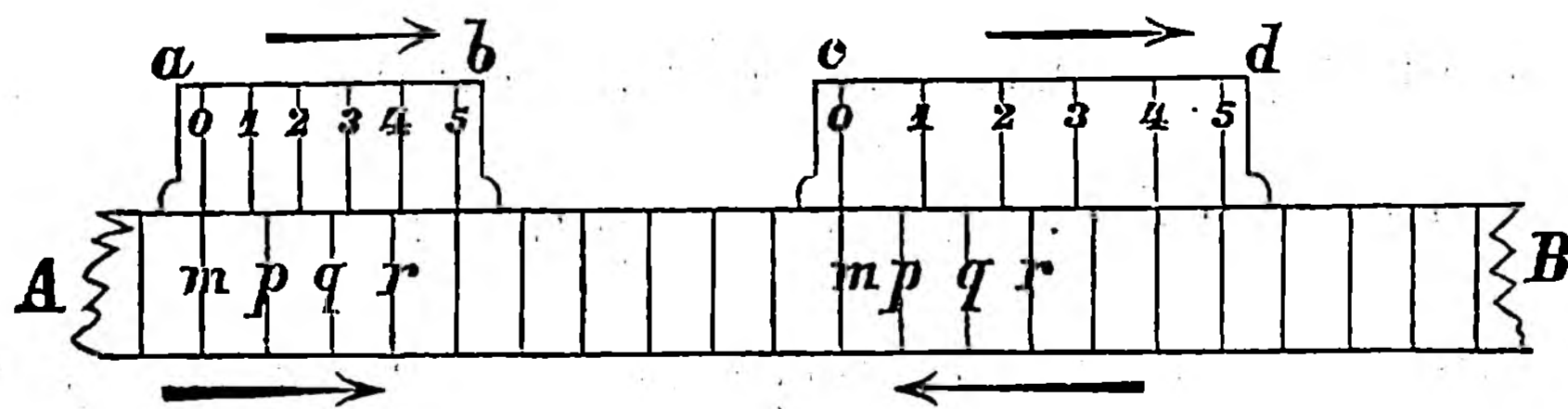
съ однимъ изъ штриховъ мѣры, и вопросъ состоитъ въ опредѣленіи  $cb$ , ибо  $ab$  равно  $7 + cb$ , т.-е. въ опредѣленіи разстоянія отъ конца  $b$  линіи до ближайшаго штриха съ меньшею подписью. Точно также, если при измѣреніи угла показателъ алидады остановится между двумя штрихами лимба, то нужно будетъ опредѣлить градусную величину дуги  $cb$  (черт. 43), потому что полный отчетъ по показателю  $b$  алидады  $= 44^\circ + cb$ . Эта-то величина  $cb$  и опредѣляется посредствомъ верньера.

Черт. 43.



Верньеръ строится или на прямомъ краѣ небольшой пластинки,двигающейся по линейкѣ, или на дугѣ круга,двигающейся по лимбу, и бы-

Черт. 44.



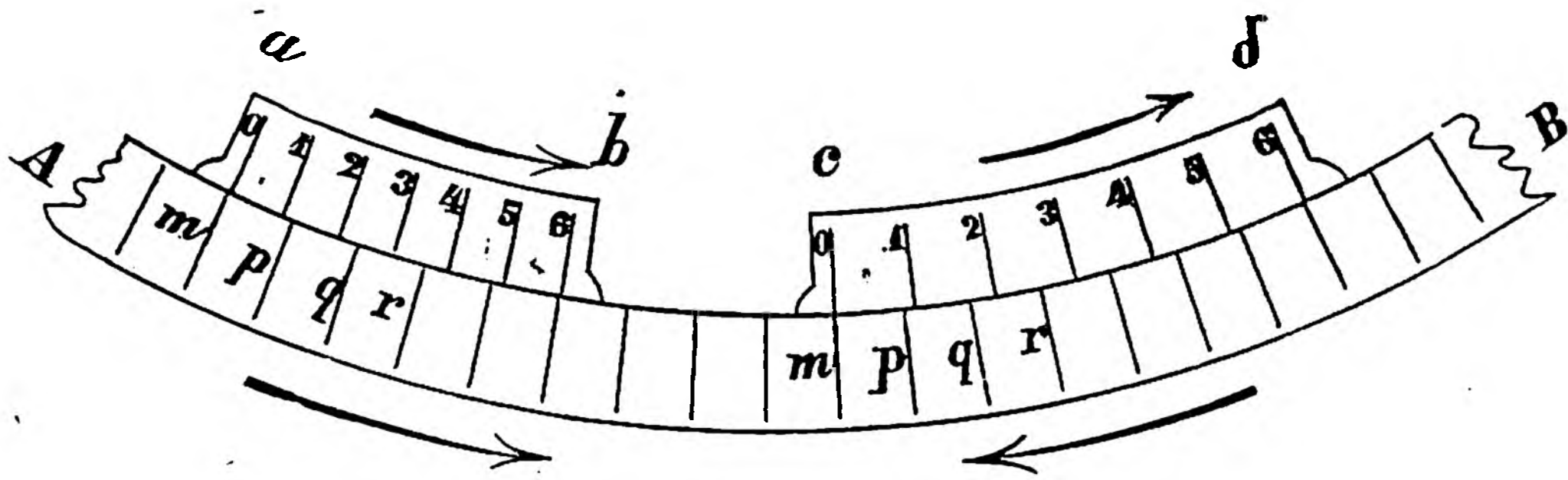
ваетъ двухъ родовъ. Если возьмемъ  $n$  дѣленій линейки или лимба  $AB$  (черт. 44 и 45), отложимъ эту величину или по прямому краю пластинки

<sup>1)</sup> Эти названія происходятъ отъ фамилій двухъ лицъ: нидерландца *Петра Верньера* (Pierre Vernier), изложившаго свое изобрѣтеніе въ сочиненіи, изданномъ въ Брюсселѣ въ 1631 г., и португальца *Петра Нуннеца* или *Ноніуса* (Pedro Nunes), перваго, которому принадлежитъ мысль оцѣнки мелкихъ долей дѣленій и издавшаго по этому поводу сочиненіе въ 1542 г. Такъ какъ предложеніе *Ноніуса* не имѣетъ, однако, ничего общаго съ построеніемъ, излагаемымъ въ послѣдующемъ и принадлежащимъ *Верньеру*, то правильнѣе называть это построеніе верньеромъ, а не ноніусомъ.



$ab$ , или по краю дугообразной пластинки  $ab$  и раздѣлимъ ихъ на  $n + 1$  равную часть, то получимъ построение, называемое *верньеромъ съ  $n + 1$  дѣленіемъ*. Если же длину  $n$  дѣлений линейки или лимба, отложенную на пластинкахъ  $cd$ , раздѣлимъ на  $n - 1$  часть, то получимъ *верньеръ съ  $n - 1$  дѣленіемъ*. Понятно, что въ первомъ случаѣ дѣленія верньера мельче

Черт. 45.



дѣлений линейки или лимба, а во второмъ — больше. Одинъ изъ крайнихъ штриховъ верньера обозначается нулемъ и называется *указателемъ* или *индексомъ*<sup>1)</sup>.

Обозначимъ величину одного дѣленія линейки или лимба чрезъ  $l$ , а величину одного дѣленія верньера — чрезъ  $v$  и опредѣлимъ  $l - v = t$ , называемое *точностью* верньера. Имѣемъ

для верньеровъ  $ab$ :

$$(n + 1)v = nl$$

$$v = \frac{nl}{n + 1}$$

для верньеровъ  $cd$ :

$$(n - 1)v = nl$$

$$v = \frac{nl}{n - 1}$$

$$l - v = t = l - \frac{nl}{n + 1} = \frac{l}{n + 1} \quad l - v = t = l - \frac{nl}{n - 1} = -\frac{l}{n - 1},$$

$$\text{а вообще } t = \frac{l}{n \pm 1}.$$

Знакъ минусъ во второй части втораго случая показываетъ, что  $l < v$ , какъ и должно быть. Слѣдовательно *точность верньера равна величинѣ одного дѣленія линейки или лимба, раздѣленной на число частей верньера*.

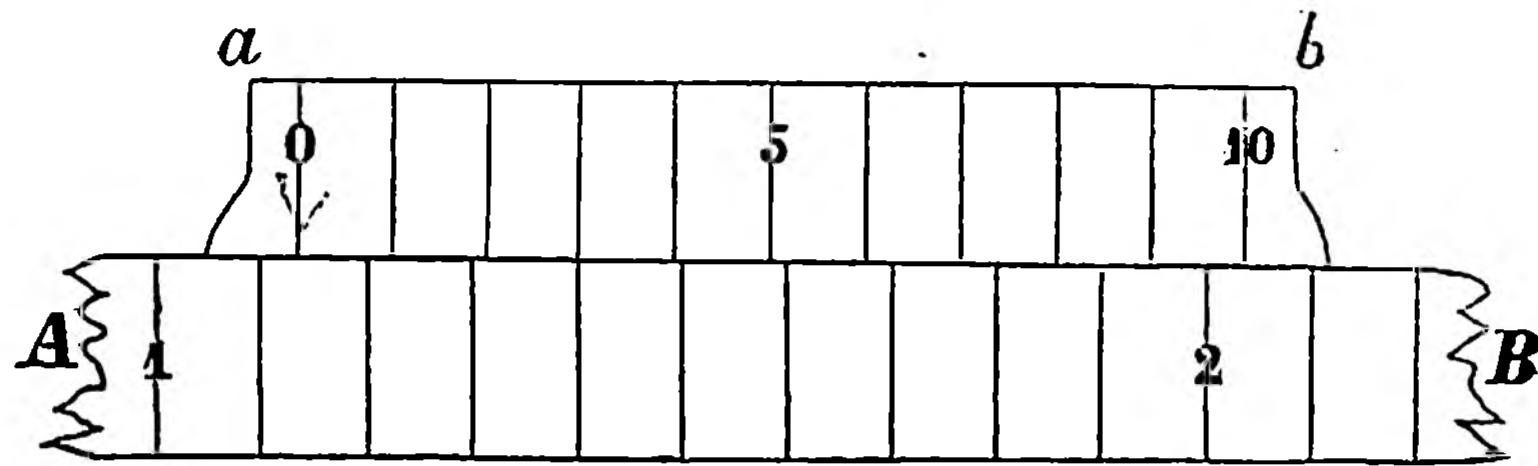
Если разность между однимъ дѣленіемъ линейки или лимба и верньера  $= \frac{l}{n \pm 1}$ , то, при совпадении индекса верньера съ какимъ-нибудь штрихомъ  $m$ , первый послѣ индекса штрихъ верньера будетъ отстоять отъ штриха  $p$  линейки или лимба на ту же величину  $\frac{l}{n \pm 1}$ , второй штрихъ отстоять отъ  $q$  на  $2 \frac{l}{n \pm 1}$ , третій штрихъ отстоять отъ  $r$  на  $3 \frac{l}{n \pm 1}$ , .... Обратнo, если первый послѣ индекса штрихъ верньера совпадаетъ съ какимъ-нибудь штрихомъ  $p$ , то индексъ отстоитъ отъ штриха  $m$  на  $\frac{l}{n \pm 1}$ ; если второй штрихъ верньера совпадаетъ со штрихомъ  $q$ ,

<sup>2)</sup> Лат. слово *index* — указатель.

то индексъ отстоитъ отъ  $m$  на  $2 \frac{l}{n \pm 1}$ ; если третій штрихъ совпадаетъ со штрихомъ  $r$ , то индексъ отстоитъ отъ  $m$  на  $3 \frac{l}{n \pm 1}$ , и т. д. Величины  $\frac{l}{n \pm 1}$ ,  $2 \frac{l}{n \pm 1}$ ,  $3 \frac{l}{n \pm 1}$ , ... называются *показаніями* верньера.

Изъ предыдущей теоріи можно вывести правило для отсчитыванія по верньеру. Дѣйствительно, положимъ имѣемъ линейку  $AB$  (черт. 46), на которой нанесены вершки, раздѣленные на десятыя доли, и положимъ,

Черт. 46.



что по этой линейкѣ двигается верньеръ  $ab$ , при построении котораго взято было девять долей вершка и раздѣлено на 10 равныхъ частей; требуется сдѣлать отсчетъ по индексу верньера. Прежде всего вычислимъ точность верньера; она будетъ:

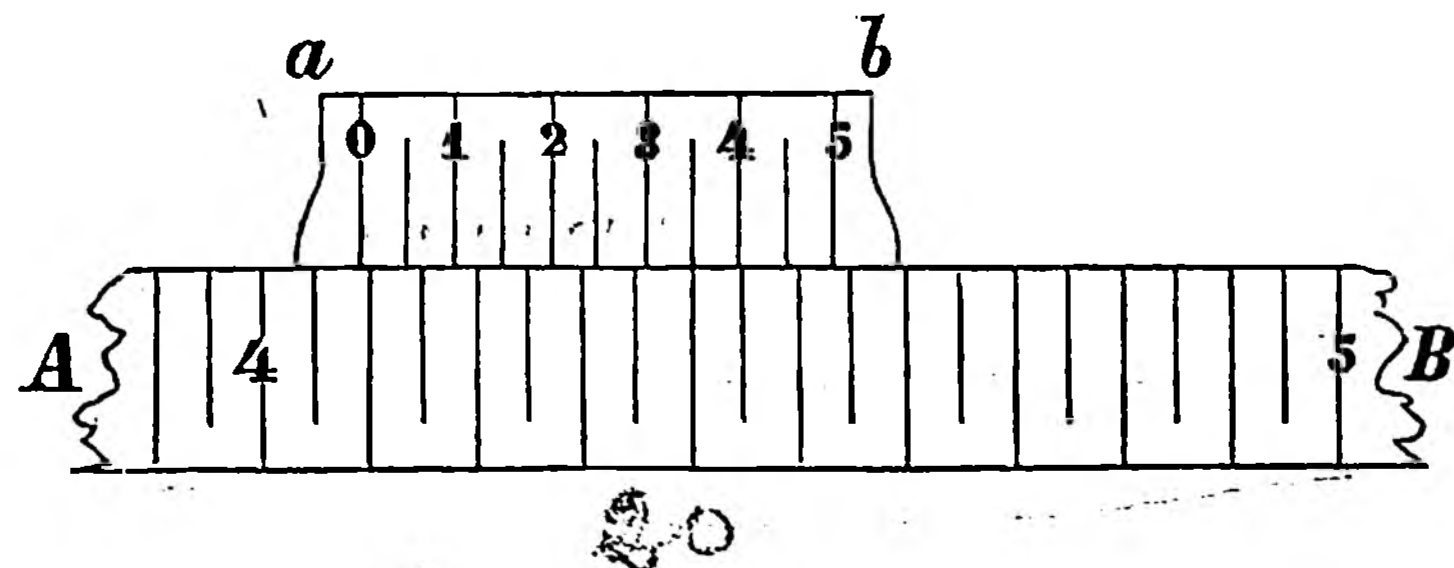
$$t = \frac{0,1^{\text{вершк.}}}{10} = 0,01 \text{ вершка.}$$

Затѣмъ отсчетъ по линейкѣ до штриха, предшествующаго индексу, есть 1,1| вершка. Наконецъ, замѣтимъ, смотря на верньеръ, номеръ штриха, совпадающаго со штрихомъ линейки, не считая при этомъ индекса верньера. Такъ какъ на нашемъ чертежѣ совпадаетъ третій штрихъ, то разстояніе отъ штриха линейки, предшествующаго индексу, до индекса  $= 3 \times 0,01$  вершка  $= 0,03$  вершка; вслѣдствіе чего полный отсчетъ будетъ

$$1,1 + 0,03 = 1,13 \text{ вершка.}$$

Чтобы не опредѣлять номера штриха, совпадающаго со штрихомъ линейки, и чтобы не производить умноженія числа этого номера на точность верньера, при штрихахъ верньера подписывается это послѣднее

Черт. 47.



произведеніе. Для избѣжанія же пестроты, подписи дѣлаются не при каждомъ штрихѣ верньера, а чрезъ нѣсколько штриховъ; напр. на черт. 46 подписаны только три штриха — индексъ, при которомъ стоитъ нуль, затѣмъ пятый штрихъ, подписанный просто цифрою 5 вмѣсто произведенія 0,05 и, наконецъ, послѣдній штрихъ, подписанный числомъ 10 вмѣсто 0,10.

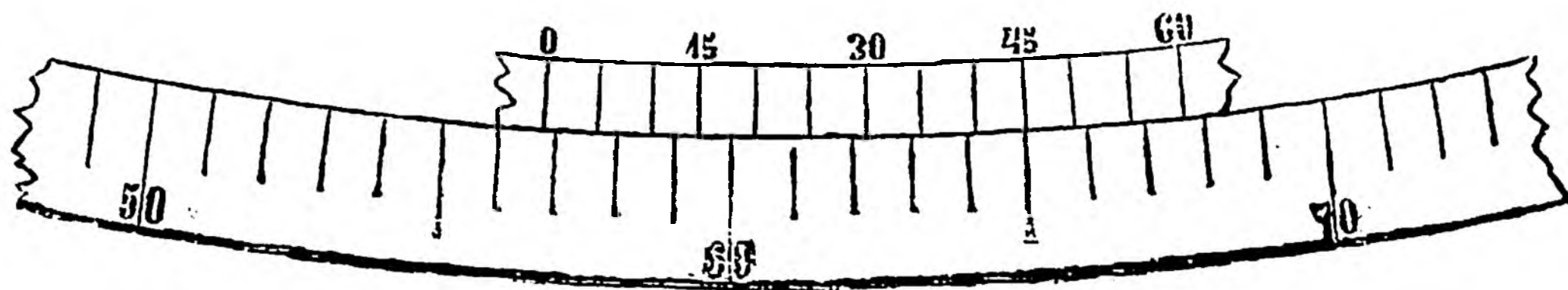
Возьмемъ еще примѣры: а) на черт. 47 одно дѣленіе линейки есть двадцатая доля вершка, а верньеръ раздѣленъ на 10 частей; вслѣдствіе чего

$$\text{точность верньера } t = \frac{1}{20} : 10 = \frac{1}{200} = 0,005^{\text{в}},$$

$$\text{отсчетъ} = 4,05 + 0,035 = 4,085^{\text{в}}.$$

б) Опредѣлимъ точности верньеровъ, назначенныхъ на дугахъ круга и изображенныхъ на черт. 48, 49 и 50,

Черт. 48.



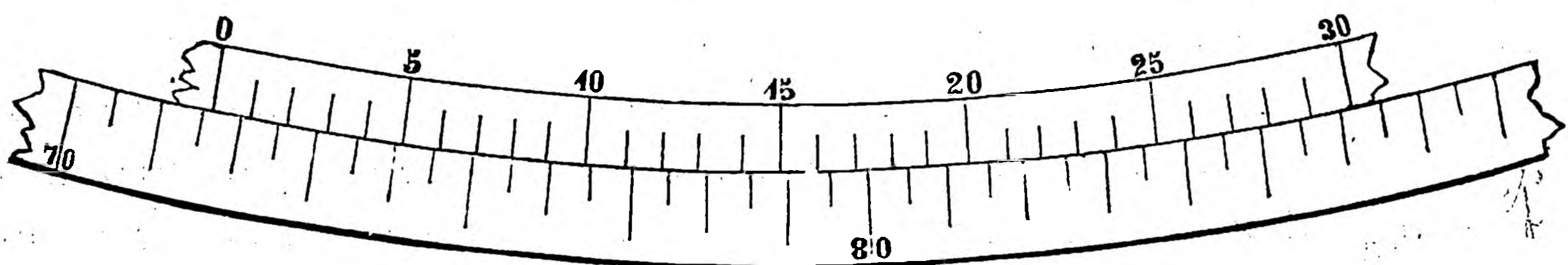
и произведемъ также по нимъ отсчитыванія. На черт. 48 лимбъ раздѣленъ на градусы, верньеръ — на 12 частей; а потому

$$\text{точность верньера } t = \frac{60'}{12} = 5',$$

$$\text{отсчетъ} = 56^{\circ} + 45' = 56^{\circ}45'.$$

Лимбъ чертежа 49 раздѣленъ на полуградусы, верньеръ — на 30 частей; поэтому

Черт. 49.



$$\text{точность верньера } t = \frac{30'}{30} = 1',$$

$$\text{отсчетъ} = 71^{\circ} + 38' = 71^{\circ}38'.$$

Наименьшее дѣленіе лимба на черт. 50 есть  $10'$ , а верньеръ раздѣленъ на 60 частей (не считая дѣлений, расположенныхъ вправо отъ нуля и влѣво отъ 10); поэтому

$$\text{точность верньера } t = \frac{600''}{60} = 10'',$$

$$\text{отсчетъ} = 70^{\circ}40' + 5'50'' = 70^{\circ}45'50'',$$

ибо со штрихомъ лимба совпадаетъ штрихъ верньера, помѣченный звѣздочкой.

Изъ этихъ примѣровъ вытекаетъ слѣдующее правило для отсчитыванія по верньерамъ: *опредѣливъ сначала точность верньера, отсчитываютъ по линейкѣ (или лимбу) до штриха, предшествующаго индексу верньера; затѣмъ, опредѣляютъ подпись штриха верньера, совпадающаго*

со штрихомъ лимба. Наконецъ, присоединивъ эту подпись къ отсчету по индексу, получается полный отсчетъ по верньеру.

Изъ той же теоріи верньера видно, что на верньерь съ  $n + 1$  дѣленіемъ возрастающая подпись штриховъ или, какъ принято говорить, направленіе дѣленій располагается по направленію дѣленій линейки или

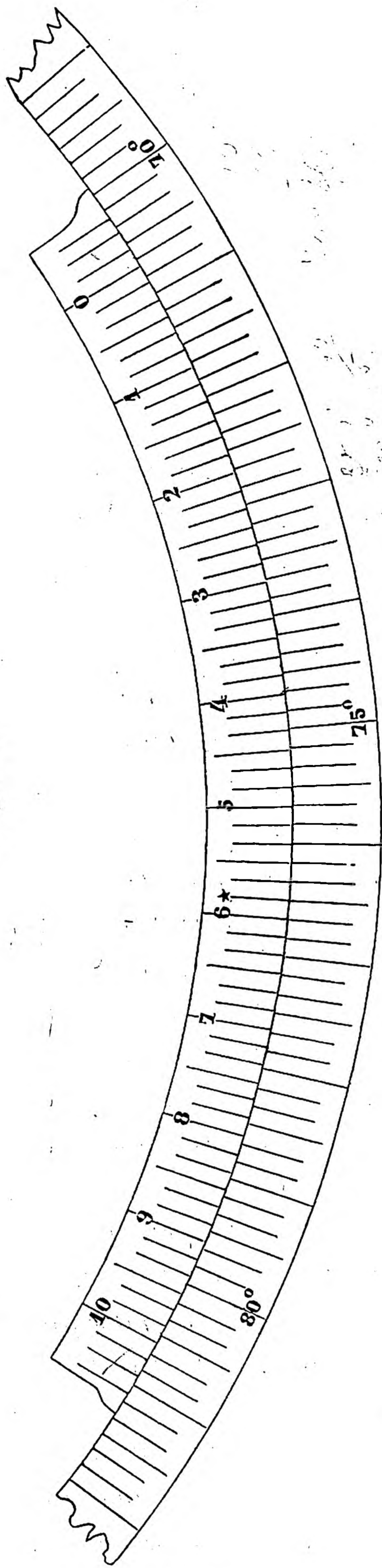
лимба (чертежи отъ 46 до 50), а на верньерь съ  $n - 1$  дѣленіемъ тѣ же подписи должны быть расположены по направленіямъ противоположнымъ. Для разъясненія этого послѣдняго обратимся опять къ черт. 44 и 45. Мы видѣли, что точность верньера или разность между однимъ дѣленіемъ линейки (лимба) и однимъ дѣленіемъ верньера есть

$$t = \frac{l}{n \pm 1};$$

видѣли также, что при послѣдовательномъ совпаденіи штриховъ 1, 2, 3, . . . верньера со штрихами  $p, q, r, \dots$  линейки или лимба, указатель верньера съ  $n + 1$  дѣленіемъ ( $ab$ ) передвигается вправо отъ  $m$ , вслѣдствіе чего направленіе дѣленій линейки или лимба, одинаково съ направленіемъ дѣленій верньера, т.-е. слѣва направо, что и обозначено на чертежахъ стрѣлками. При таковомъ же послѣдовательномъ совпаденіи штриховъ верньера съ штрихами линейки или лимба, указатель верньера съ  $n - 1$  дѣленіемъ ( $cd$ ) будетъ передвигаться влѣво отъ  $m$ , а потому направленіе дѣленій линейки или лимба должно располагаться въ этомъ случаѣ справа налѣво, т.-е. по направленію обратному съ направленіемъ дѣленій верньера, что также обозначено стрѣлками. Вслѣдствіе этого свойства верньерь съ  $n + 1$  дѣленіемъ называется иногда также *прямымъ*, а верньерь съ  $n - 1$  дѣленіемъ — *обратнымъ*. Такъ какъ верньерь съ  $n - 1$  дѣленіемъ представляетъ неудобство при отсчитываніи, то онъ почти не употребляется въ угломѣрныхъ инструментахъ, а примѣняется только для пря-

молинейныхъ шкалъ и въ особенности въ томъ случаѣ, когда верньерь не можетъ быть расположенъ по направленію ея дѣленій, какъ напр. у нѣкоторыхъ барометровъ. Примѣромъ отсчитыванія по верньеру обратному можетъ служить черт. 51, на которомъ изображена шкала, раздѣленная на полудюймы и десятая его доли, а верньерь, равный по длинѣ 11 наименьшимъ частямъ шкалы, раздѣленъ на 10 частей; такъ что

Черт. 50.

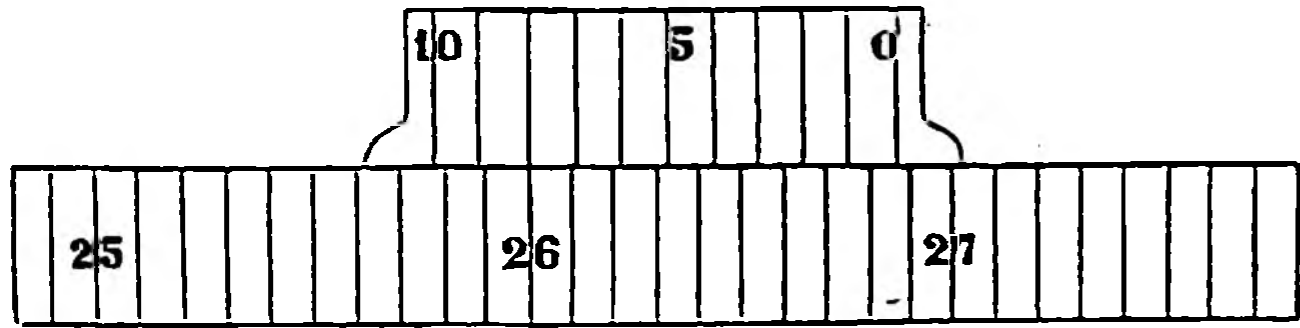


$$\text{точность верньера } t = \frac{0,1}{10} = 0,01 \text{ полуд.},$$

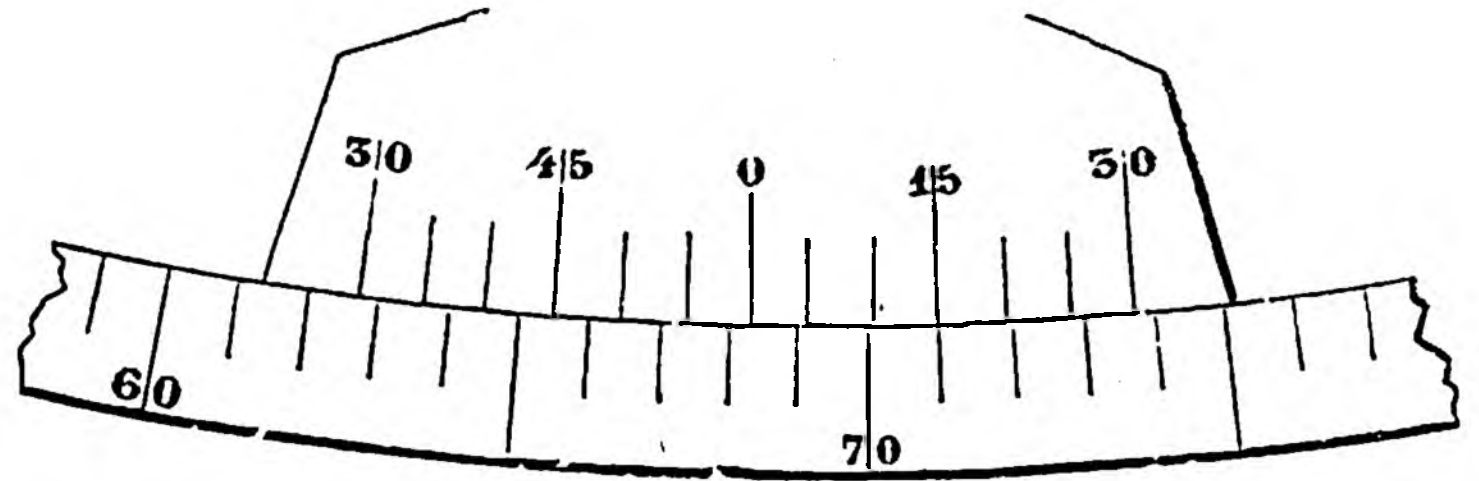
$$\text{отсчет} = 26,88 \text{ полуд.} = 13,44''.$$

Относительно отсчитыванія по верньерамъ надо прибавить слѣдующее: а) Иногда нуль верньера (индексъ) подписывается при среднемъ его штрихѣ, а подпись остальныхъ штриховъ располагается такъ: сначала отъ 0 вправо до крайней черты верньера, а потомъ отъ другой (лѣвой)

Черт. 51.

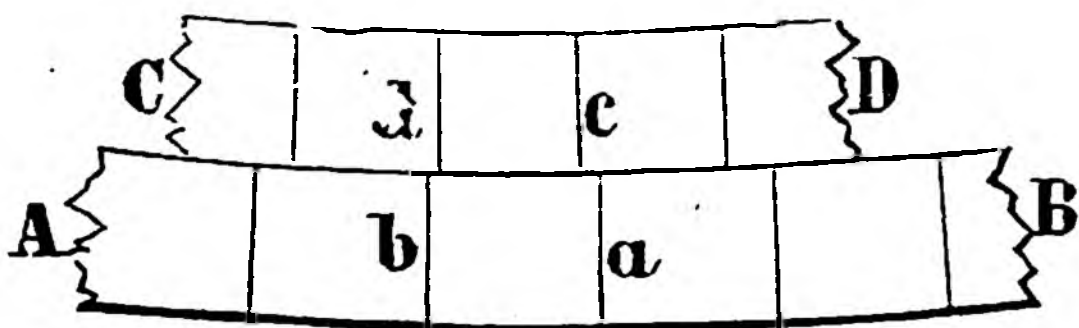


Черт. 52.



крайней черты до нуля верньера (черт. 52). Очевидно, что правило отсчитыванія по такому верньеру остается то же. б) Глазъ нужно держать такъ, чтобы линія зрѣнія была перпендикулярна къ лимбу; въ противномъ случаѣ, вслѣдствіе параллакса, будутъ казаться совпадающими не тѣ штрихи верньера, которые совпадаютъ въ дѣйствительности. с) Можетъ случиться, что ни одинъ изъ штриховъ верньера не совпадаетъ со штрихомъ лимба; тогда, или одно изъ дѣленій верньера помѣщается внутри дѣленія лимба (черт. 53, на которомъ  $CD$  есть часть верньера, а  $AB$  — часть лимба), что можетъ быть въ случаѣ верньера прямого

Черт. 53.



или, какъ въ случаѣ верньера обратнаго, одно изъ дѣленій лимба помѣщается внутри какого-нибудь дѣленія верньера. Какъ въ томъ, такъ и въ другомъ случаѣ за показаніе верньера можно принять среднее

арифметическое изъ подписей штриховъ верньера. д) При весьма мелкомъ верньерѣ не такъ легко обнаружить тотъ штрихъ его, который совпадаетъ со штрихомъ лимба. Въ этомъ случаѣ, кромѣ штриховъ верньера и лимба, которые *кажутся* совпадающими, необходимо также обратить вниманіе на штрихи, рядомъ лежащіе. Если они находятся на равныхъ разстояніяхъ отъ соотвѣтственныхъ штриховъ лимба, то *кажущееся* совпаденіе есть вмѣстѣ съ тѣмъ и дѣйствительное; въ противномъ случаѣ совпаденія не существуетъ.

Для обнаруженія совпаденія штриховъ, находящихся въ началѣ или концѣ верньера, на немъ дѣлаются еще такъ называемые *добавочные* штрихи, имѣющіе то же разстояніе между собою и помѣщаемые передъ нулемъ и за послѣднимъ штрихомъ его. Совокупность этихъ штриховъ есть *эксценція* \*).

§ 50. Рѣшеніе обратнаго вопроса, т.-е. опредѣленіе по данной величинѣ одного дѣленія линейки (или лимба) числа частей, которыя нужно

\*) Отъ лат. слова excedere — превышать.

взять для построения верньера съ известною степенью точности, производится по формулѣ:

$$t = \frac{l}{n \pm 1},$$

изъ которой

$$n = \frac{l}{t} \mp 1,$$

гдѣ знакъ минусъ соотвѣтствуетъ верньеру прямому, а плюсъ — верньеру обратному.

*Примѣры:* 1) Наименьшее дѣленіе лимба есть 20'; требуется построить верньеръ, точность отсчитыванія по которому была бы 20". Сколько нужно взять частей лимба?

Отв.  $n = \frac{20' \times 60}{20''} - 1 = 59$  частямъ лимба. Иначе, нужно взять дугу лимба въ  $59 \times 20' = 19^{\circ}40'$  и раздѣлить ее на 60 частей.

2) Наименьшее дѣленіе линейки есть 0,05 дюйма; требуется построить верньеръ съ  $n - 1$  дѣленіемъ, точность отсчитыванія по которому была бы 0,001 дюйма. Сколько нужно взять частей линейки?

Отв.  $n = \frac{0,05''}{0,001''} + 1 = 51$  часть линейки. Иначе, нужно взять 2,55" и раздѣлить на 50 частей.

**§ 51.** Повѣрка равенства между собою дѣленій верньера производится такъ: движеніемъ верньера по линейкѣ (лимбу) приводятъ индексъ верньера въ совпаденіе съ какимъ-нибудь штрихомъ линейки (лимба) и смотрятъ — отстоятъ ли рядомъ лежащіе штрихи верньера на одинаковомъ разстояніи отъ штриховъ линейки (лимба), лежащихъ по обѣимъ сторонамъ отъ того штриха ея, который совпадаетъ съ штрихомъ верньера. Затѣмъ, приводятъ въ совпаденіе съ *тѣмъ же* штрихомъ линейки (лимба) каждый изъ послѣдующихъ штриховъ верньера и обращаютъ вниманіе на относительное размѣщеніе рядомъ лежащихъ штриховъ верньера и линейки (лимба). Если на всемъ протяженіи верньера это размѣщеніе одинаково, то дѣленія верньера равны между собою; въ противномъ случаѣ верньеръ нужно передѣлать. При этомъ предположено, что дѣленія линейки (лимба) равны между собою.

**§ 52.** Алидада должна вращаться въ центрѣ  $L$  (черт. 54) лимба, но вслѣдствіе чрезвычайной трудности и даже невозможности точнаго выполненія этого условія въ механическомъ отношеніи, центръ вращенія ея  $A$  обыкновенно не совпадаетъ съ  $L$ . Разстояніе  $LA$  называется *эксцентрицитетомъ* \*) алидады. Можно показать, что вліяніе эксцентрицитета на измѣреніе угла, между предметами мѣстности, уничтожается двумя верньерами на діаметрально противоположныхъ частяхъ алидады. Дѣйствительно, положимъ, что при направленіи алидады на одинъ изъ данныхъ предметовъ она занимала положеніе  $aa'$ , а при направленіи ея на другой предметъ она заняла положеніе  $bb'$ . Уголъ

\*) Отъ лат. словъ: *ex* — внѣ и *centrum* — средоточіе.

$aAb = a$  есть уголъ между данными предметами мѣстности; между тѣмъ на лимбѣ измѣрена градусная величина дуги  $ab$ , выражающая градусную величину угла  $a'$ , который вообще не равенъ  $a$ . Если кромѣ отсчетовъ  $a$  и  $b$ , сдѣланы еще на діаметрально противоположныхъ верньерахъ отсчеты  $a'$  и  $b'$ , то изъ чертежа видно, что

$$a = \frac{a' + a''}{2},$$

ибо

$$ab'b = \frac{1}{2} aLb = \frac{1}{2} a'$$

$$a'ab' = \frac{1}{2} a'Lb' = \frac{1}{2} a'';$$

съ другой стороны, внѣшній уголъ

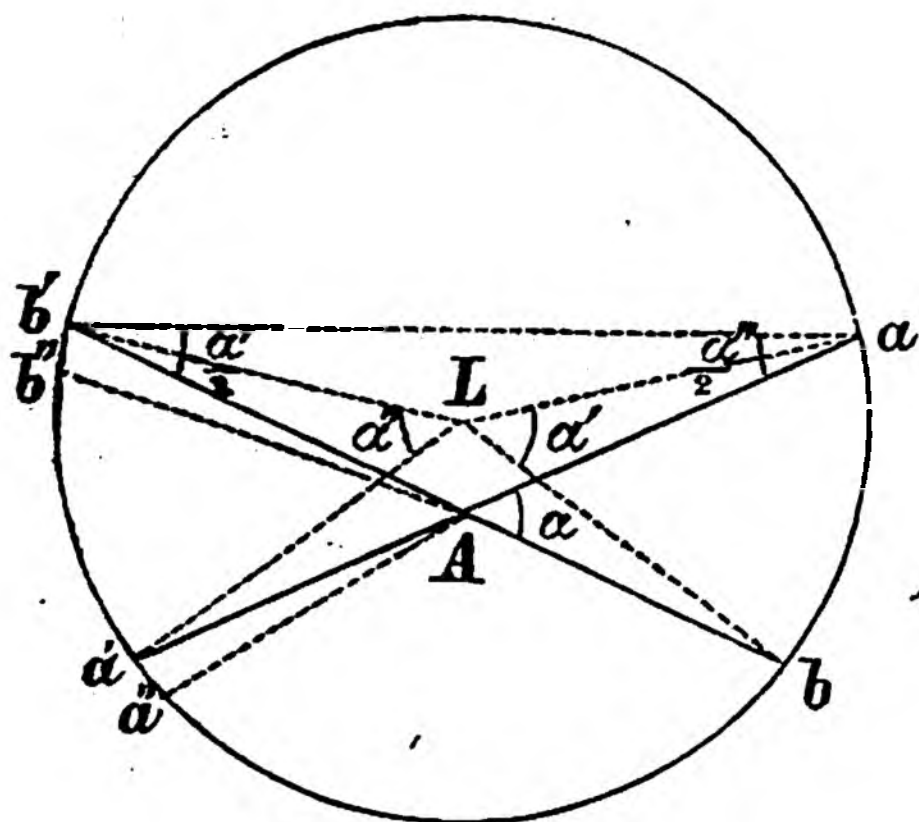
$$aAb = ab'b + b'aa'.$$

Слѣдов.

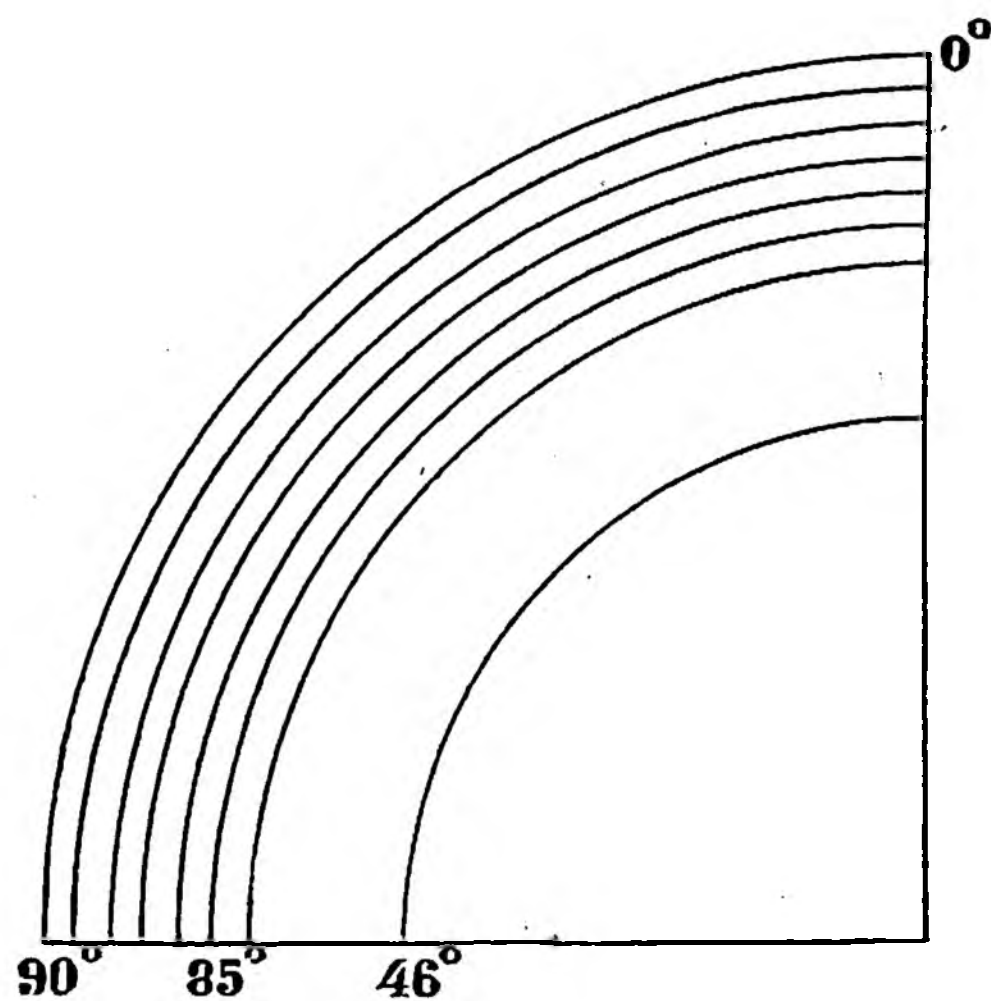
$$a = \frac{a' + a''}{2}.$$

И такъ вліяніе эксцентрицитета алидады уничтожается отсчетами на двухъ діаметрально противоположныхъ верньерахъ. Это справедливо даже и тогда, когда верньеры не совсѣмъ точно діаметрально противоположны, ибо въ этомъ случаѣ можно принять, что дуга  $a''a' =$  дугѣ  $b''b'$ .

Черт. 54.



Черт. 55.



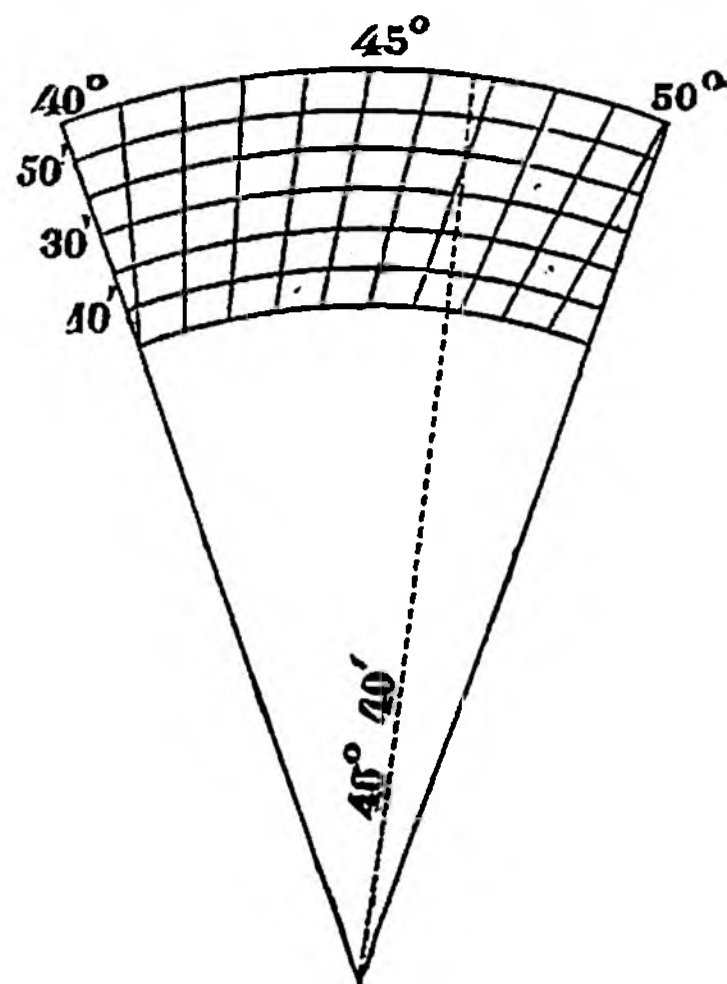
Если алидада имѣетъ только одинъ верньеръ, то и тогда можно освободиться отъ вліянія эксцентрицитета, направляя алидаду на предметы при двухъ ея положеніяхъ. Это не трудно видѣть изъ предыдущаго чертежа, на которомъ  $a$  и  $b$  будутъ выражать теперь отсчеты по верньеру при первомъ положеніи алидады, а  $a'$  и  $b'$  — отсчеты при второмъ положеніи алидады, т.-е. послѣ обращенія ея на  $180^\circ$ .

§ 53. Въ заключеніе приведемъ нѣкоторыя подробности о построеніи ноніуса, съ цѣлью разъясненія того обстоятельства, что предложеніе Ноніуса не имѣетъ ничего общаго съ изобрѣтеніемъ Верньера, и нѣкоторыя свѣдѣнія объ отсчитываніи посредствомъ транверселей.

Ноніусъ, профессоръ математики въ Коимбра, въ своемъ сочиненіи „*De crepusculis. Olyssipone*“, изданномъ въ 1542 г., предложилъ вспомогательное средство для опредѣленія долей дѣлений круговъ, состоящее въ томъ, что болѣе мелкое ихъ подраздѣленіе замѣняется различными подраздѣленіями одной и той же дуги, а именно: если рядомъ съ квадрантомъ, раздѣленнымъ на  $90^\circ$ , начертить еще 44 вспомогательныхъ концентрическихъ квадранта, которые раздѣлить на 89, 88, 87, . . . . 46 частей (черт. 55), и если какое-нибудь направленіе на предметъ не

совпадаетъ ни съ однимъ изъ градусныхъ штриховъ перваго квадранта, то оно проходитъ непременно вблизи одного изъ штриховъ вспомогательныхъ квадрантовъ; градусное же значеніе этого штриха легко вычислить. Основанное на этомъ предложеніе Нониуса, оказалось на практикѣ однако настолько неудобнымъ, что *Тихо де-Браге* (датскій астрономъ, род. въ 1546 г., а ум. въ 1601 г.), желая однажды его примѣнить, долженъ былъ отъ него отказаться и прибѣгнуть къ другому приему. По счастливой случайности, во время пребыванія своего въ Лейпцигѣ, Тихо узналъ отъ профессора математики *Ивана Гомме* объ изобрѣтенномъ имъ построеніи поперечнаго масштаба, употребляющагося и понынѣ, и примѣнилъ это построеніе къ круговымъ дѣленіямъ; вслѣдствіе чего, на 4-хъ дюймовомъ напр. кругѣ, который, какъ видно изъ черт. 56, раздѣленъ на градусы, можно было отсчитывать съ точностью до 10'. Хотя впоследствии было доказано, что, вмѣсто прямыхъ трансверсалей, Тихо слѣдовало бы взять трансверсальныя дуги, проходящія чрезъ центръ, тѣмъ не менѣе приемъ его былъ практически достаточенъ для производимыхъ имъ астрономическихъ наблюдений. Съ теченіемъ времени этотъ способъ оцѣнивать доли дѣленій лимба посредствомъ трансверсалей былъ вытѣсненъ указаннымъ выше верньеромъ, который былъ описанъ въ первый разъ самимъ изобрѣтателемъ въ его брошюрѣ: *La construction, l'usage, et les propriétés du quadrant nouveau de mathématiques. Bruxelles, 1631, in 12°.*

Черт. 56.



## Микрометръ.

§ 54. При съемкахъ, требующихъ высокой степени точности, въ угломерныхъ инструментахъ вмѣсто верньеровъ употребляются *микрометры*. Подъ этимъ названіемъ будемъ понимать въ послѣдующемъ соединеніе сложнаго микроскопа съ винтомъ, посредствомъ котораго можетъ быть передвигаема, внутри микроскопа, нить<sup>1)</sup>. Прикрѣпленіе микрометра къ угломерному инструменту бываетъ двоякое: или микрометръ прикрѣпленъ къ какой-нибудь неподвижной части инструмента, и тогда лимбъ этого послѣдняго, помѣщающійся передъ объективомъ микроскопа, вращается около своего центра, или микрометръ прикрѣпленъ къ колоннѣ, которая вращается въ центрѣ неподвижнаго лимба.

Для уничтоженія вліянія эксцентрицитета алидады на точность измѣренія угловъ, при угломерномъ инструментѣ необходимо имѣть два микрометра.

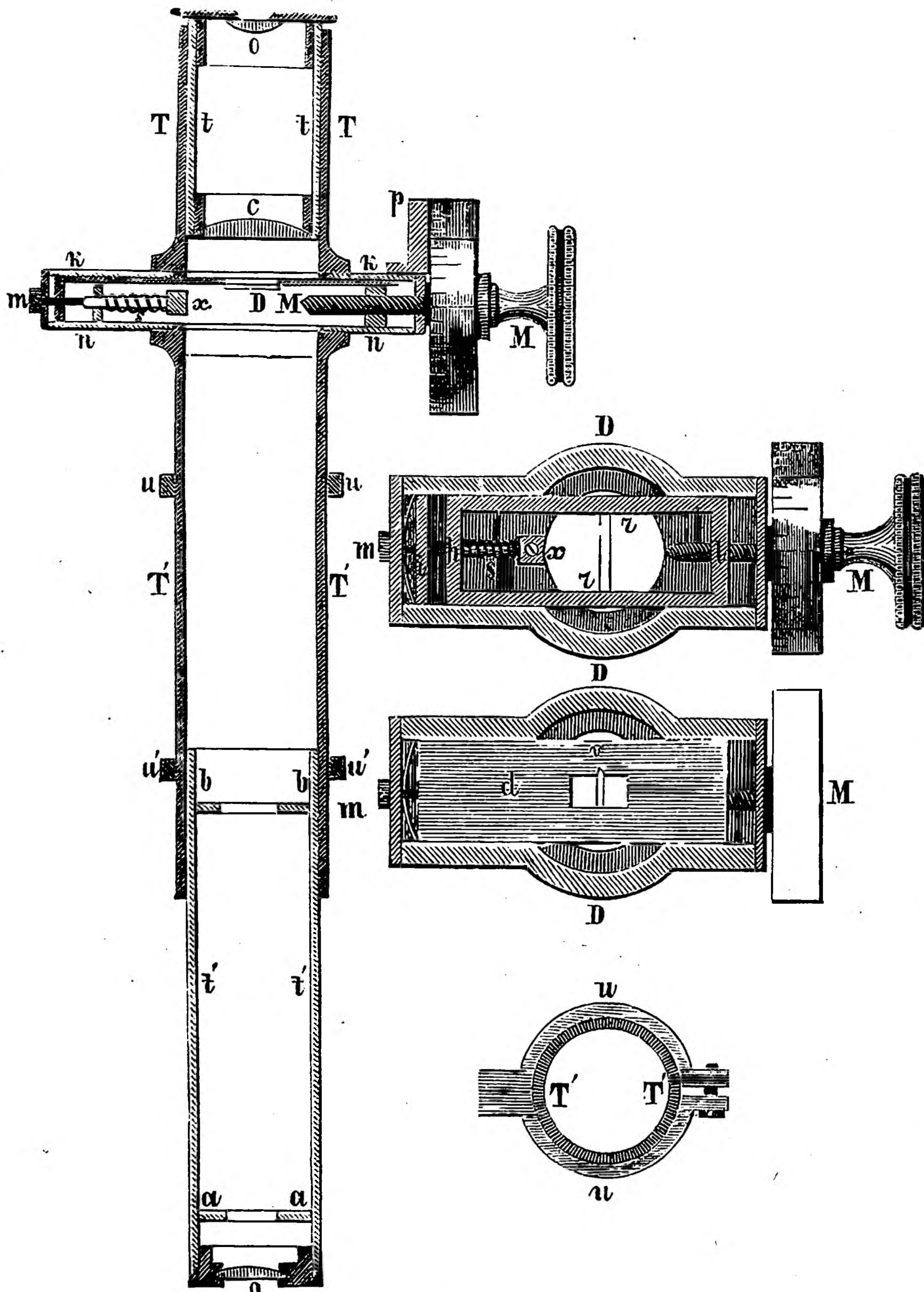
Черт. 57 представляетъ въ разрѣзѣ микрометръ механиковъ *Пистора* и *Мартинса* въ Берлинѣ. Микрометръ вставленъ въ кольца *и*, *и* и *и'*, *и'*,

<sup>1)</sup> Слово *микрометръ* происходитъ отъ 2 греч. словъ: *mikrós* — маленькій и *mètrein* — измѣрять. Первоначальная идея употребленія микрометра при угломерныхъ инструментахъ принадлежитъ *Товію Мейеру* старшему (род. въ Марбахѣ въ 1723 г., ум. въ Геттингенѣ въ 1762 г.). Онъ прикрѣпилъ къ алидадѣ, по направленію радіуса лимба, серебряную нить, которая передвигалась отъ одного штриха лимба къ другому посредствомъ винта съ шляпкою, раздѣленною по своей окружности. По числу оборотовъ и ихъ долей, сдѣланныхъ винтомъ при передвиженіи нити изъ нормальнаго положенія до совпаденія съ ближайшимъ штрихомъ лимба, Мейеръ опредѣлялъ соответственную часть дѣленія лимба. Позднѣйшее усовершенствованіе микрометра, присоединеніемъ къ нему сложнаго микроскопа, сдѣлано впервые *Рамденомъ* въ концѣ прошедшаго столѣтія.



которыя посредством изогнутаго рычага соединены накрѣпко съ алидадою инструмента. Микрометръ состоитъ главнымъ образомъ изъ двухъ частей: сложнаго микроскопа  $TTT'T'$  и пересекающей его коробки  $kn$  съ винтомъ  $M$ . Въ трубку  $TT$  вставляется и можетъ передвигаться вдоль ея оси окулярная трубочка  $tt$  съ двумя плоско-выпуклыми стеклами  $o$  и  $c$ , а въ трубку  $T'T'$  вставляется объективная трубочка  $t't'$  съ однимъ плоско-выпуклымъ стекломъ и двумя діафрагмами  $aa$  и  $bb$ . Внутри коробки  $kn$ , разрѣзь которой изображенъ на томъ же черт. 57 въ профиль и планѣ, помещена рама  $rr$  съ натянутыми на ней двумя параллельными

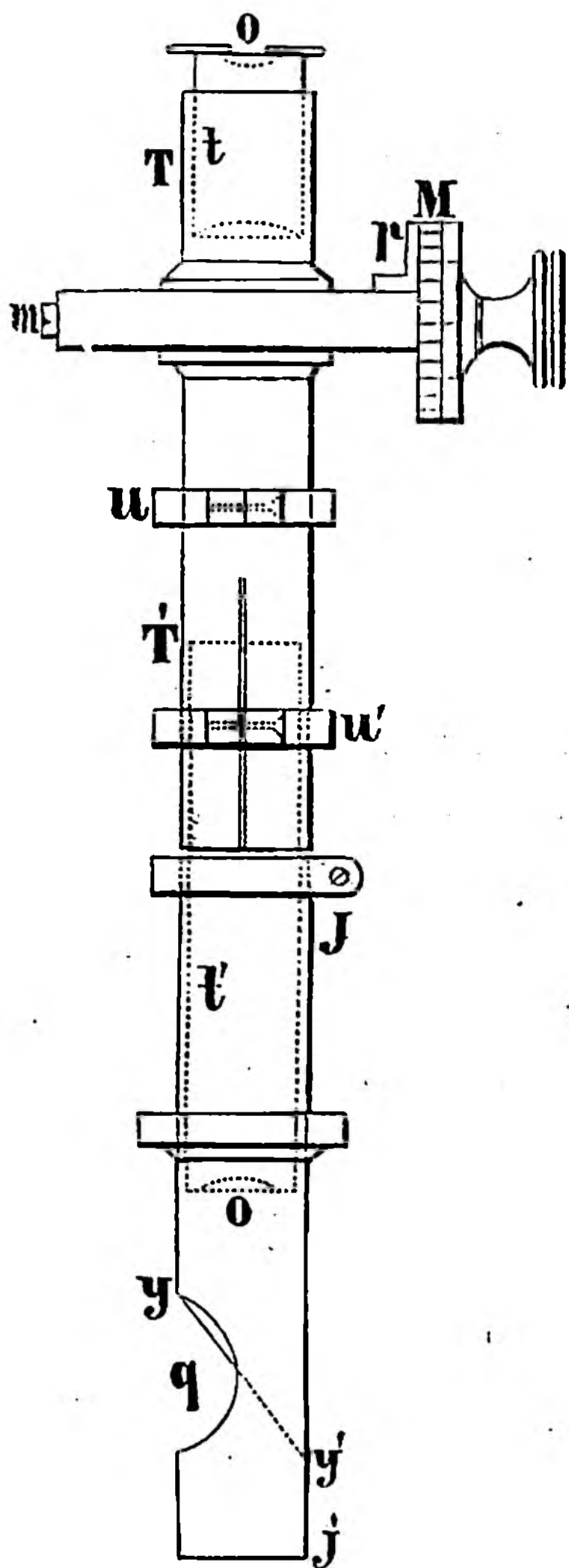
Черт. 57.



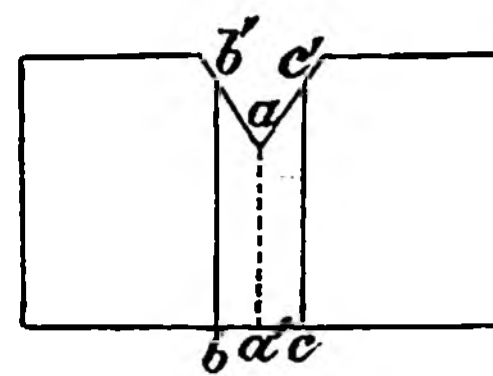
паутинными нитями и могущая передвигаться внутри коробки слѣва направо и обратно. Въ правую боковую стѣнку этой рамы входитъ винтъ  $M$  съ ободкомъ, на которомъ назначены дѣленія. Число и доли полныхъ оборотовъ винта или, все равно, ободка опредѣляются по показателю  $p$ , прикрѣпленному къ крышкѣ коробки  $kn$ . Такъ какъ винтъ  $M$ , проходя чрезъ боковую стѣнку коробки  $kn$ , можетъ въ ней только вращаться, не подаваясь ни въ ту, ни въ другую сторону, то вмѣстѣ съ поворачиваніемъ его будетъ передвигаться рама  $rr$ ; а чтобы передвиженіе это

совершалось возможно правильнѣе и винтъ  $M$  не имѣлъ *мертвого хода*<sup>1)</sup>, чрезъ лѣвую боковую стѣнку рамы проходитъ стержень  $h$ , прикрѣпленный къ кубику  $x$  и обвитый спиральной пружиной  $s$ . На раму накладывается сверху дощечка  $d$ , въ серединѣ которой сдѣлано четырехугольное отверстие  $D$  съ зубчикомъ. Чрезъ боковой загибъ дощечки пропущенъ винтъ  $m$ , проходящій чрезъ боковую стѣнку коробки  $kn$ . Помощью этого винта и дугообразной пружины, помѣщенной между стѣнкою коробки и загибомъ дощечки, можно сообщать этой послѣдней небольшое передвиженіе вправо или влево. Къ трубчкѣ  $tt'$ , вблизи объектива микроскопа, прикрѣпляется винтами иллюминаторъ, представляющій собою пустой цилиндръ, въ который подъ угломъ  $45^\circ$  къ оси вставлена дощечка съ прорѣзомъ въ серединѣ; сбоку цилиндра сдѣланъ вырѣзъ. Вся внутренняя поверхность низа

Черт. 57 (bis).



Черт. 58.



цилиндра, вмѣстѣ съ дощечкою, выкрашена бѣлою краскою. Лучи свѣта, входя въ боковой вырѣзъ иллюминатора, падаютъ на дощечку и отбрасываются на лимбъ, чѣмъ и освѣщаютъ его. Черт. 57 (bis) представляетъ наружный видъ микрометра; на немъ трубчкѣ  $JJ'$  есть иллюминаторъ,  $yy'$  — дощечка подъ угломъ  $45^\circ$  къ оси микрометра и  $q$  боковой вырѣзъ; остальные буквы имѣютъ то же значеніе, что и на черт. 57.

Для удобства поворачиванія винта  $M$ , микрометръ вставляется въ кольца  $u$ ,  $u$  и  $u'$ ,  $u'$  такъ, чтобы головка винта была *вправо* отъ коробки въ томъ случаѣ, когда микрометръ служитъ для отсчитыванія на *горизонтальномъ* лимбѣ, и *внизу* коробки, когда онъ служитъ для отсчитыванія на *вертикальномъ* лимбѣ.

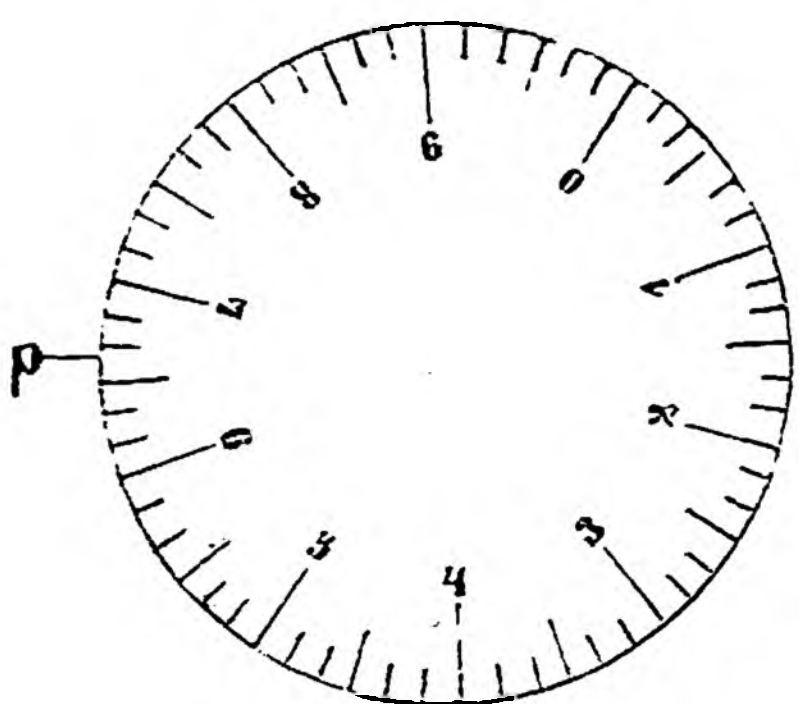
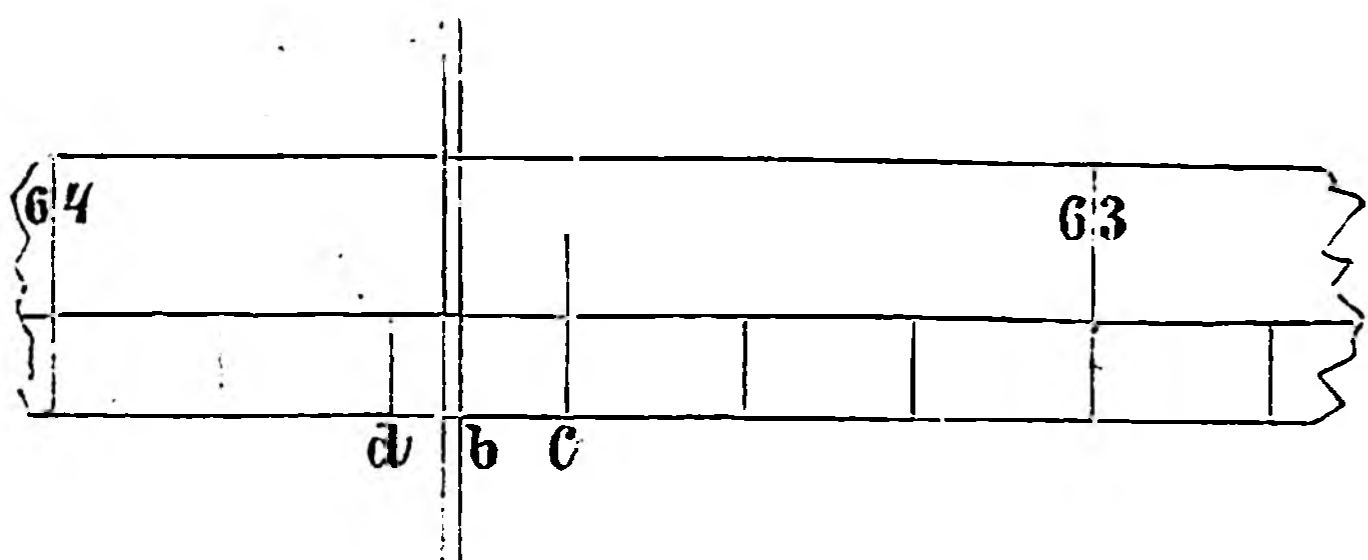
§ 55. Переходя теперь къ употребленію микрометра, прежде всего замѣтимъ, что онъ такъ же, какъ и верньеръ, имѣетъ указатель или индексъ, которымъ служитъ воображаемая прямая линія, проходящая чрезъ остріе зубчика и параллельная дѣленіямъ лимба. Если повернемъ винтъ  $M$  настолько, чтобы параллельныя паутины нити микрометра размѣстились симметрично относительно зубчика, то онѣ размѣстятся симметрично также и относительно указателя, потому что нити, какъ увидимъ ниже при установкѣ микрометра, параллельны штрихамъ лимба; на этомъ основаніи, симметричное положеніе нитей относительно зубчика называется *нормальнымъ*. На черт. 58, представляющемъ въ увеличенномъ видѣ отверстие пластинки  $d$  и зубчикъ, воображаемая линія  $aa'$  есть указатель микрометра, а  $bb'$  и  $cc'$  суть нити въ нормальномъ ихъ положеніи.

1) *Мертвымъ ходомъ* винта называется такое его вращеніе, которое не производитъ требуемаго дѣйствія, какъ напр. не передвигаетъ раму  $rr$ . Оно происходитъ или отъ того, что промежутокъ между нарезками винта и нарезками гайки слишкомъ великъ, или отъ того, что нарезки винта или гайки испорчены.

При правильной установкѣ микрометра показателъ  $p$  (черт. 57) долженъ стоять на нулѣ ободка винта  $M$  въ то время, когда нити занимаютъ нормальное положеніе. Кроме того, если нити симметричны относительно какого-либо штриха лимба, то послѣ одного или нѣсколькихъ полныхъ оборотовъ винта  $M$  онѣ должны стоять опять симметрично относительно штриха, смежнаго съ первымъ.

Пусть черт. 59 представляетъ часть лимба, каждый градусъ котораго раздѣленъ на 6 частей, такъ что одно дѣленіе лимба есть  $10'$ ; положимъ далѣе, что, при передвиженіи нитей съ одного штриха лимба на другой, винтъ  $M$  дѣлаетъ одинъ полный оборотъ и что ободокъ винта раздѣленъ на 60 частей. При такихъ условіяхъ одно дѣленіе ободка соответствуетъ  $10''$ , потому что, если полный оборотъ его соответствуетъ  $10'$ , то  $\frac{1}{60}$  доля его будетъ  $\frac{600''}{60} = 10''$ . Каждая 6 дѣлений ободка соответствуютъ  $1'$ , а цифры ободка: 1, 2, 3 . . . . 9, поставленныя на шестомъ, двѣнадцатомъ, восемнадцатомъ и т. д. штрихахъ послѣ нуля, суть: 1, 2, 3, . . . . 9 минутъ. Если нити микрометра, будучи въ нормальномъ положеніи, помѣщаются относительно штриховъ  $d$  и  $c$ , соответствующихъ  $63^{\circ}40'$  и  $63^{\circ}30'$  такъ, какъ показано на чертежѣ, то отсчетъ выразится числомъ  $63^{\circ}30' +$  градусная величина дуги  $bc$ ; при чемъ  $b$  есть точка, лежащая въ серединѣ между нитями. Для опредѣленія величины  $bc$ , вращаютъ винтъ  $M$  до тѣхъ поръ, пока нити размѣстятся симметрично относительно штриха  $c$ , т.-е. пока этотъ послѣдній встанетъ въ серединѣ между ними, и тогда дѣлаютъ отсчетъ при показателѣ  $p$  ободка. Такъ какъ градусная величина дуги  $dc$ , равная  $10'$ , во столько разъ больше градусной величины дуги  $bc$ , во сколько разъ полный оборотъ ободка, соответствующій также  $10'$ , болѣе той части оборота, которая сдѣлана для передвиженія нитей изъ  $b$  въ  $c$ , то градусная величина дуги  $bc$  есть отсчетъ при показателѣ  $p$  ободка. Въ нашемъ случаѣ полный отсчетъ  $= 63^{\circ}30' + 6'38'' = 63^{\circ}36'38''$ ; при чемъ единицы минутъ и десятки секундъ отсчитаны по ободку, а единицы секундъ получены по оцѣнкѣ на глазъ. Не трудно видѣть, что отсчетъ при показателѣ  $p$  будетъ одинъ и тотъ же — будутъ ли нити переведены изъ  $b$  въ  $c$  или изъ  $b$  въ  $d$ . Въ самомъ дѣлѣ, для перевода нитей изъ  $b$  въ  $c$  надо, *ввертывая* винтъ  $M$ , повернуть ободокъ *по* направленію дѣлений на немъ настолько, чтобы показателъ  $p$  стоялъ на  $6'38''$ . Съ другой стороны, такъ какъ дуга  $dc = 10'$ , то  $bd = 10' - 6'38'' = 3'22''$ ; иначе, для перевода нитей изъ  $b$  въ  $d$  надо повернуть ободокъ *противъ* дѣлений настолько, чтобы мимо указателя  $p$  прошла дуга его, соответствующая  $3'22''$ . Послѣ чего, штрихъ встанетъ между нитями и показателъ  $p$  остановится опять на  $6'38''$ .

Черт. 59.



При ввертываніи винта  $M$  спиральная пружина  $s$ , обернутая около штифта  $h$  (черт. 57), сжимается, а при вывертываніи того же винта она разжимается. Первое дѣйствіе пружины называется *положительнымъ*; оно считается болѣе правильнымъ, потому что отъ сгустившагося масла,

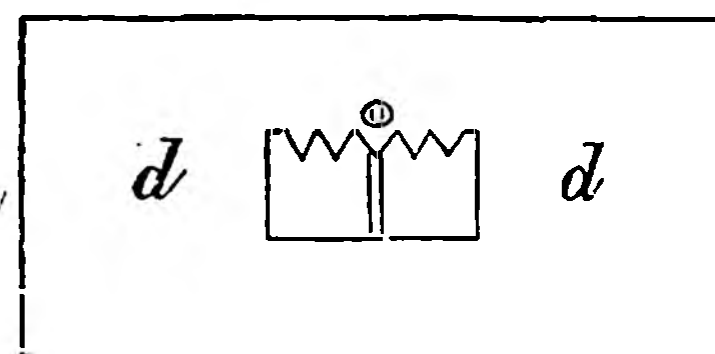
При ввертываніи винта  $M$  спиральная пружина  $s$ , обернутая около штифта  $h$  (черт. 57), сжимается, а при вывертываніи того же винта она разжимается. Первое дѣйствіе пружины называется *положительнымъ*; оно считается болѣе правильнымъ, потому что отъ сгустившагося масла,

которымъ смазаны разныя части микрометра, или отъ другихъ причинъ, пружина дѣйствуетъ не вполне сильно тогда, когда она разжимается. А потому, для уничтоженія погрѣшности въ отсчетѣ, происходящей отъ измѣненія упругости пружины, надо наводить середину нитей на штрихъ лимба *всегда* положительнымъ движеніемъ. Кромѣ того, такъ какъ отъ несовершенно точнаго равенства дѣленій лимба, полный оборотъ не соотвѣтствуетъ точно одному дѣленію, то середину нитей наводятъ сначала на штрихъ *c* (черт. 59), а затѣмъ на штрихъ *d*, и изъ отсчетовъ, сдѣланныхъ на ободкѣ послѣ этихъ наведеній, берутъ среднее арифметическое.

Вслѣдствіе всего въ этомъ § сказаннаго, отсчитываніе по микрометру производится въ слѣдующемъ порядкѣ: *середина нитей наводится положительнымъ движеніемъ сначала на одинъ изъ тѣхъ штриховъ лимба, между которыми помѣщаются нити микрометра, и дѣлается отсчетъ по ободку; затѣмъ, середина нитей переводится за другой штрихъ и наводится на него опять же движеніемъ положительнымъ, и по ободку дѣлается второй отсчетъ. Среднее арифметическое изъ обоихъ отсчетовъ принимается за истинную градусную величину дуги.*

Если одно дѣленіе лимба соотвѣтствуетъ не одному обороту винта *M*, а нѣсколькимъ, напр. пяти, тогда на дощечкѣ *d* (черт. 57) дѣлается не одинъ зубчикъ, а пять (черт. 60) въ такомъ взаимномъ разстояніи другъ отъ друга, чтобы передвиженіе нитей отъ одного зубчика до другаго соотвѣтствовало одному полному обороту ободка. Противъ средняго зубчика дѣлается маленькое круглое отверстіе и при нормальномъ положеніи нитей онъ размѣщаются симметрично относительно средняго зубчика.

Черт. 60.



§ 56. Передъ употребленіемъ микрометровъ надо сначала ихъ *установить*. Эта установка состоитъ изъ слѣдующихъ дѣйствій: 1) Нити должны представляться черными рѣзкими чертами, — что достигается передвиженіемъ окулярной трубочки *tt* (черт. 57). 2) Дѣленія лимба должны представляться съ совершенною ясностью, не должно существовать параллакса нитей и самыя нити должны быть параллельны дѣленіямъ лимба. Первые два условія достигаются передвиженіемъ всего микрометра, вдоль его оси, въ кольцахъ *u*, *u* и *u'*, *u'*, а третье условіе — вращеніемъ микрометра въ тѣхъ же кольцахъ. Передъ производствомъ этой установки надо ослабить винты, стягивающіе кольца, и снова закрѣпить ихъ послѣ установки. 3) Когда нити имѣютъ нормальное положеніе, то показателъ *p* долженъ стоять на нуль ободка винта *M*. Если условіе не выполнено, то ставятъ нуль въ совпаденіе съ показателемъ *p* и, дѣйствуя винтомъ *m*, передвигаютъ дощечку *d* настолько, чтобы зубчикъ помѣстился въ серединѣ между нитями. 4) При нормальномъ положеніи нитей, отсчеты по двумъ діаметрально-противоположнымъ микрометрамъ должны разниться ровно на  $180^\circ$ . Когда середина нитей одного изъ микрометровъ совмѣщается съ  $0^\circ$  лимба, тогда середина нитей другаго микрометра должна совмѣщаться со  $180^\circ$ . Если условіе не выполнено, то, отвинтивъ у втораго микрометра наружную гайку винта *M*, устанавливаютъ вращеніемъ этого послѣдняго середину нитей на штрихъ  $180^\circ$ ; затѣмъ, удерживая нити въ неизмѣнномъ положеніи, обращаютъ одинъ только ободокъ винта *M* настолько, чтобы нуль совпалъ съ показателемъ *p*; послѣ чего гайка закрѣпляется. Если при этомъ нити не симметричны относительно зубчика, то исправленіе производится винтомъ *m*. 5) Микрометръ долженъ имѣть надлежащее увеличеніе, — другими словами, при передвиженіи нитей съ одного штриха лимба на смежный, ободокъ винта *M* долженъ дѣлать одинъ или цѣлое число оборотовъ. Приводятъ нити въ нормальное положеніе и устанавливаютъ какой нибудь штрихъ лимба въ серединѣ нитей; вращая винтъ *M*,

переводятъ нити на штрихъ смежный. Если послѣ этого показатель ободка будетъ опять стоять на нулѣ, какъ и въ началѣ, то условіе выполнено; въ противномъ случаѣ, микрометръ не имѣетъ надлежащаго увеличенія; а именно — если увеличеніе недостаточно, то показатель перейдетъ чрезъ нуль, если же оно велико, то не дойдетъ. Для полученія надлежащаго увеличенія берлинскій механикъ *Бамбергъ* поступаетъ слѣдующимъ образомъ: ослабляетъ винтъ, сжимающій нижнее кольцо  $u' u'$ , и *вдвигаетъ* или *выдвигаетъ* объективную трубочку  $tt'$  въ трубкѣ  $T' T'$ , смотря по тому, что увеличеніе *велико* или *мало*. Затѣмъ, этотъ винтъ закрѣпляется и производится новое испытаніе. При значительномъ измѣненіи разстоянія объектива отъ окуляра изображенія штриховъ сдѣлаются неясными и нужно будетъ, ослабивъ винты, сжимающіе оба кольца, передвинуть весь микроскопъ въ кольцахъ настолько, чтобы штрихи сдѣлались ясно-видимыми и не существовало параллакса нитей. Въ предыдущемъ предполагалось, что дѣленія лимба совершенно вѣрны и что наведеніе нитей производится совершенно точно. А такъ какъ въ дѣйствительности ни то, ни другое не имѣетъ мѣста, то, не ограничиваясь однимъ мѣстомъ лимба, производятъ испытаніе на различныхъ его мѣстахъ. Исправленіе производятъ только послѣ полученія средняго ариѳметическаго изъ отдѣльныхъ отсчетовъ по ободку, послѣ испытанія микрометра на разныхъ мѣстахъ лимба.

§ 57. Что касается сравнительныхъ достоинствъ верньера и микрометра, какъ снарядовъ, служащихъ для одной и той же цѣли, то, коль скоро вопросъ состоитъ въ достиженіи наивысшей степени точности, послѣдній имѣетъ несомнѣнное преимущество передъ верньеромъ. При обыкновенныхъ же работахъ низшей геодезіи можно въ громадномъ большинствѣ случаевъ ограничиваться верньерами, которые имѣютъ слѣдующія преимущества передъ микрометрами: отсчеты по верньерамъ производятся быстрѣе; верньеры, будучи проще по конструкціи, подвержены меньшей порчѣ и, наконецъ, верньеры, повѣренные однажды, не требуютъ никакихъ установокъ.

## Уровень.

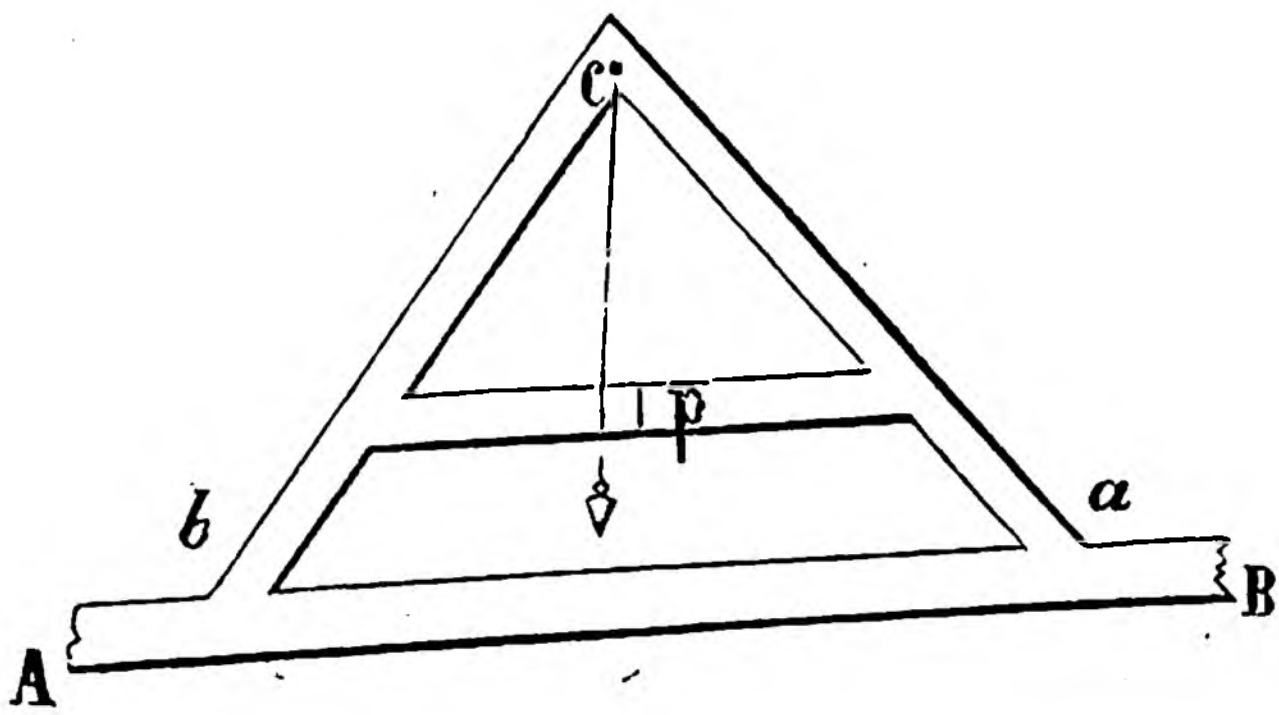
§ 58. Снарядъ, служащій для приведенія линій и плоскостей' въ горизонтальное или отвѣсное положеніе и для измѣренія небольшихъ угловъ наклоненія; есть *уровень*.

Въ прежнее время вмѣсто уровня употреблялся *ватерпасъ*<sup>1)</sup>, состоящій изъ бруска  $AB$  (черт. 61), на которомъ утверждены два другіе бруска  $ac$  и  $bc$ , связанные между собою распоркою  $p$  и составляющіе съ  $AB$  равнобедренный треугольникъ. Посрединѣ распорки  $p$  сдѣланъ штрихъ, а въ вершинѣ  $c$  укрѣплена нить съ отвѣсомъ. *Когда свободно висящая нить отвѣса совпадаетъ со штрихомъ, нижній край бруска  $AB$  долженъ быть горизонталенъ.* Для повѣрки этого условія ставятъ ватерпасъ нижнимъ его краемъ на верхнія плоскости двухъ колець  $M$  и  $N$  (черт. 62), которые вбиваются въ землю настолько, чтобы нить совмѣстилась со штрихомъ. Затѣмъ, перекладываютъ брусокъ  $AB$  на то же мѣсто, но только противоположными концами, т.-е.  $A$  на мѣсто  $B$ ,

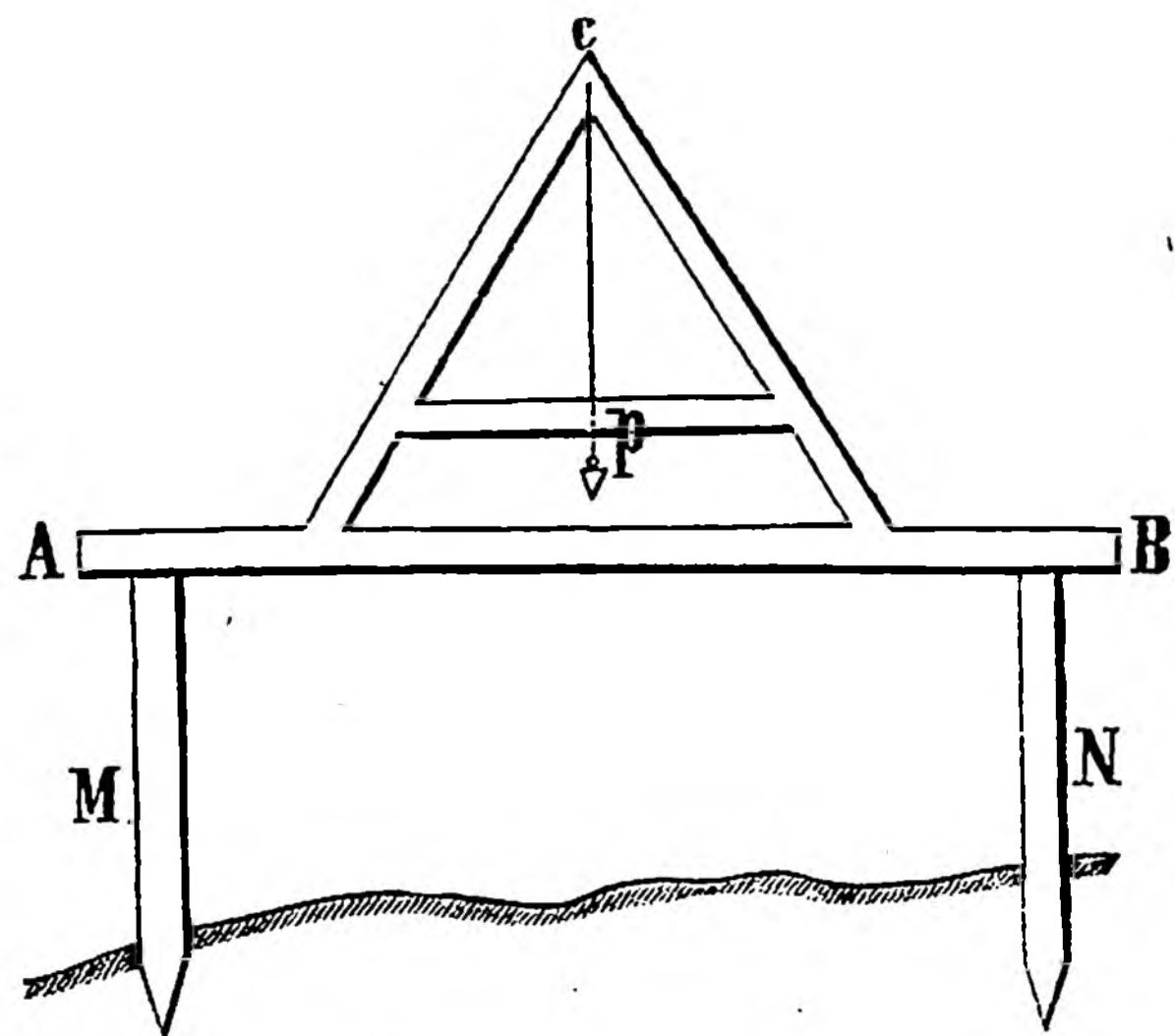
1) Отъ двухъ англ. словъ: *water* (уотер) — вода и *poise* (пойз) — равновѣсіе, противовѣсь.

а  $B$  на мѣсто  $A$ . Если послѣ этого нить снова совмѣщается со штрихомъ, то требуемое условіе выполнено; другими словами, нижній край бруска  $AB$  горизонталенъ при совмѣщеніи нити со штрихомъ, ибо отвѣсная линія перпендикулярна къ горизонтальной. Если же послѣ переложенія ватерпаса нить не совмѣщается со штрихомъ, то на распоркѣ  $p$  замѣчаютъ ея положеніе новою чертою и дѣлятъ промежутокъ между этими чертами пополамъ. Средняя точка будетъ вѣрное положеніе штриха. При производствѣ этой повѣрки нѣтъ собственно надобности приводить нить въ совмѣщеніе со штрихомъ, а можно поступать такъ: поставивъ ватерпастъ на колья, замѣчаютъ на распоркѣ положеніе нити;

Черт. 61.



Черт. 62.



затѣмъ перекладываютъ брусокъ  $AB$  на кольяхъ и дѣлаютъ на распоркѣ новую замѣтку. При выполненіи условія, точка, дѣлящая пополамъ линію, соединяющую сдѣланныя замѣтки, должна лежать на штрихѣ; въ противномъ случаѣ она указываетъ, что означенный штрихъ невѣренъ.

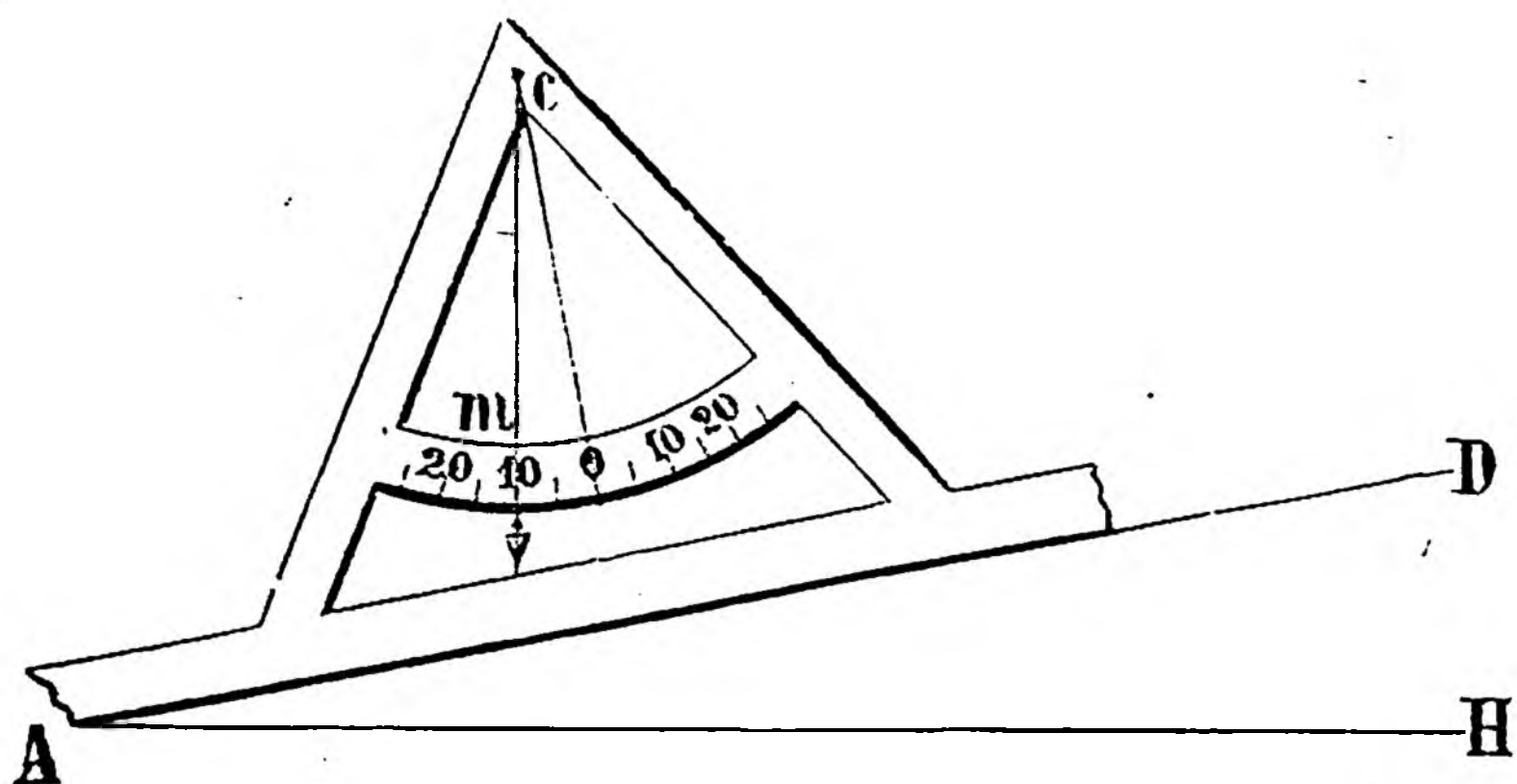
Для приведенія линіи помощью ватерпаса въ горизонтальное положеніе, ставятъ его на нее и наклоняютъ въ ту или другую сторону настолько, чтобы нить отвѣса совмѣстилась со штрихомъ. Для приведенія плоскости въ горизонтальное положеніе, достаточно привести въ это положеніе двѣ приблизительно перпендикулярныя между собою линіи, совмѣщающіяся съ плоскостью, ибо положеніе плоскости опредѣляется двумя пересѣкающимися линіями. Эти двѣ линіи приводятся въ горизонтальное положеніе послѣдовательною постановкою по ихъ направленіямъ ватерпаса; при чемъ дѣйствіе повторяется до тѣхъ поръ, пока нить отвѣса будетъ совмѣщаться со штрихомъ при обоихъ положеніяхъ ватерпаса.

Ватерпасъ уже не употребляется въ настоящее время въ геодезическихъ инструментахъ, какъ снарядъ, дающій весьма приблизительные результаты. Онъ служитъ теперь для полученія на мѣстности при плотничномъ дѣлѣ горизонтальной линіи или плоскости; при этомъ брусокъ  $AB$  дѣлается длиною, по большей части, въ 1 саж. съ болѣе мелкими подраздѣленіями на футы и дюймы или аршины и вершки. Въ этомъ послѣднемъ видѣ онъ можетъ служить также и для измѣренія горизонтальныхъ проложеній разстояній на мѣстности.

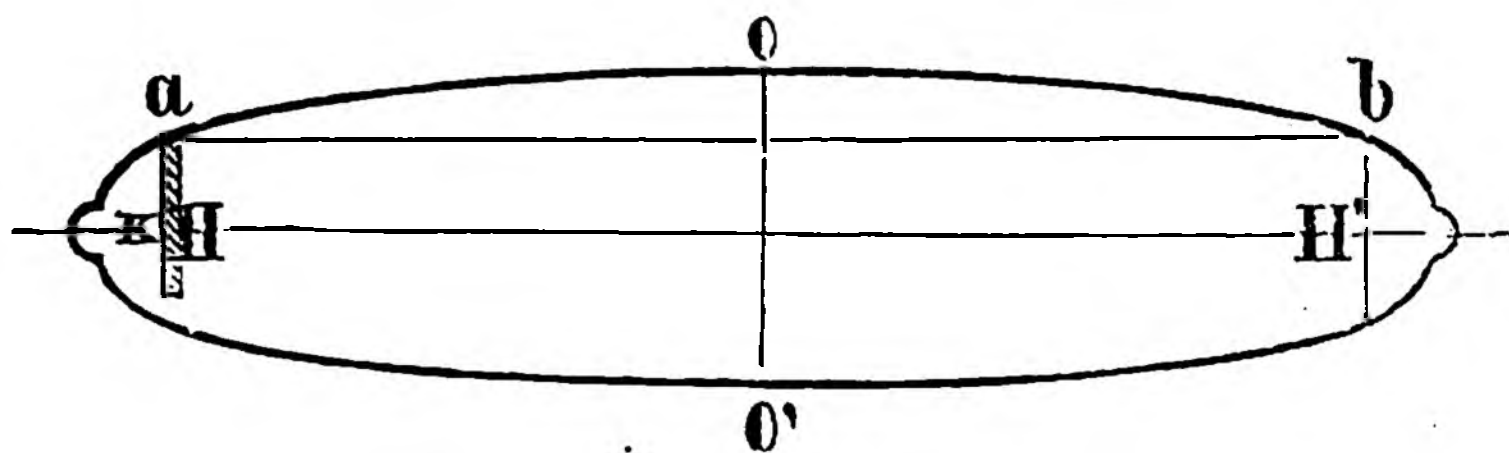
Если вмѣсто распорки  $p$  ватерпасъ имѣеть дугу, центръ которой совмѣщается съ точкою  $c$  прикрѣпленія нити отвѣса (черт. 63) и которая раздѣлена, начиная отъ середины, на градусы, то онъ называется *горнымъ уровнемъ* или *клитометромъ*<sup>1)</sup>. Клитометромъ можно не только приводить линіи и плоскости въ горизонтальное положеніе, но и измѣрять ихъ углы наклоненія; такъ напр. уголъ наклоненія  $DAH$  равенъ  $10^\circ$ .

§ 59. Ватерпасъ, какъ сказано, замѣненъ въ инструментахъ *уровнемъ*, состоящимъ изъ заключеннаго въ мѣдную оправу стекляннаго сосуда съ наливою въ него жидкостью и безвоздушнымъ пузырькомъ, который по своей легкости занимаетъ всегда высшее мѣсто. Уровни, смотря по формѣ сосуда, въ которомъ помѣщается жидкость, бываютъ: *цилиндрическіе* и *круглые*<sup>2)</sup>. Сначала уровни наполнялись водою и пузырьки ихъ были воздушные, а не безвоздушные. Въ настоящее же время уровни менѣе точные наполняются виннымъ спиртомъ, а болѣе точные — сѣрнымъ эфиромъ и пузырьки дѣлаются всегда безвоздушными. Безвоздушный пузырекъ образуется слѣдующимъ образомъ: со-

Черт. 63.



Черт. 64.



судъ при обыкновенной температурѣ наполняется жидкостью немного не до краевъ; затѣмъ, помѣщаютъ его въ песочную ванну, имѣющую температуру около  $+30^\circ R.$ , вслѣдствіе чего жидкость расширится и достигнетъ краевъ сосуда. Если въ этотъ моментъ запаять открытый конецъ сосуда, то по охлажденіи жидкости образуется безвоздушный пузырекъ, который наполняется парами ея. При расширеніи жидкости отъ нагрѣванія, пары сгущаются и наполняютъ безвоздушный пузырекъ настолько, насколько это можно, чѣмъ и предупреждается возможность опасной упругости паровъ внутри сосуда. Это и составляетъ преимущество уровня съ безвоздушнымъ пузырькомъ.

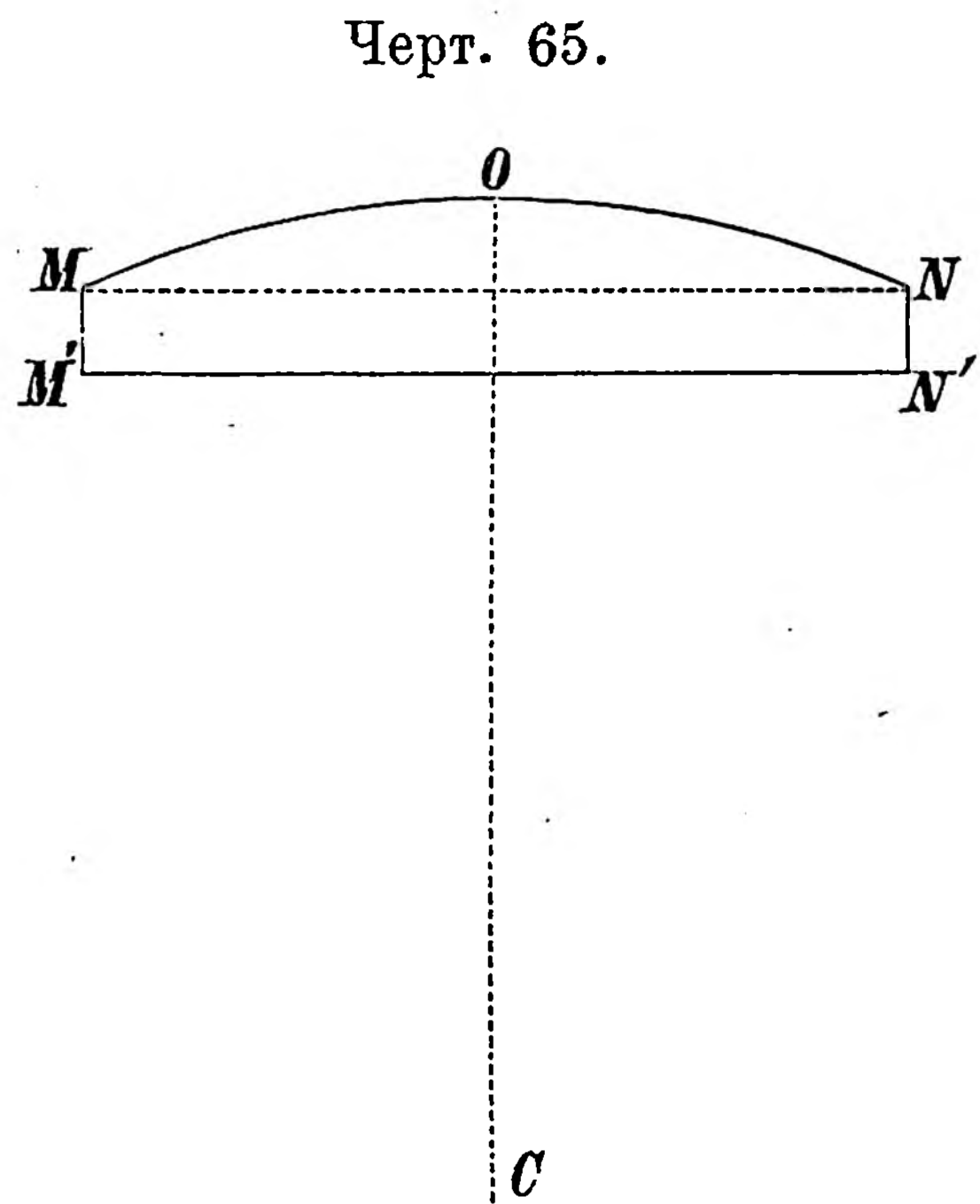
§ 60. Если  $ab$  (черт. 64) есть дуга весьма большаго радіуса, а  $HH'$  — линія, параллельная ея хордѣ, то математическая форма внутренней поверхности цилиндрическаго уровня образуется отъ вращенія дуги  $ab$  около  $HH'$ . Механически такая поверхность получается шлифовкою, и потому самый уровень называется *шлифованнымъ*, въ отличіе отъ уровня,

1) Отъ греч. словъ: *clitós* — покатость и *métréin* — измѣрять.

2) Изобрѣтеніе цилиндрическаго уровня принадлежитъ, вѣроятно, парижскому механику *Шаното*. Цилиндрической уровень былъ описанъ въ первый разъ въ брошюрѣ, изданной въ Парижѣ въ 1666 году.

внутренняя поверхность котораго образовалась сгибанием на огонь простой цилиндрической трубки, какъ это дѣлалось въ прежнее время. Шлифованный уровень, вслѣдствіе большей трудности и тщательности изготовленія, цѣнится дороже. Онъ вошелъ въ употребленіе со времени мюнхенскихъ механиковъ *Рейхенбаха* и *Фраунгофера*<sup>1)</sup>. Сѣченія внутренности цилиндрическаго уровня плоскостями, перпендикулярными къ линіи  $NN'$ , будутъ окружности различныхъ радіусовъ. Линія  $NN'$ , идущая вдоль уровня и около которой внутренняя поверхность его расположена симметрично, называется *осью цилиндрическаго уровня*.

Чтобы получить понятіе о формѣ внутренней поверхности круглаго уровня, представимъ себѣ стеклянную или металлическую коробку  $MM'N'N$  (черт. 65) цилиндрической формы, открытую сверху и имѣющую круглое дно. Представимъ себѣ, затѣмъ, что эта коробка накрыта стеклянною крышкою  $MON$ , внутренняя поверхность которой есть поверхность шароваго сегмента. Обозначивъ среднюю точку этой поверхности чрезъ  $O$  и центръ ея — чрезъ  $C$ , внутренняя поверхность всей коробки  $MONN'M'$  расположится симметрично относительно линіи  $OC$ , которая называется *осью круглаго уровня*. Слѣдов. ось круглаго уровня есть прямая, соединяющая центръ шароваго сегмента крышки уровня съ средней его точкою.



Цилиндрическіе уровни служатъ какъ для приведенія линій и плоскостей въ горизонтальное или вертикальное положеніе, такъ и для опредѣленія малыхъ угловъ наклоненія, тогда какъ круглые уровни употребляются единственно только для приведенія линій и плоскостей въ горизонтальное или вертикальное положеніе.

**§ 61.** Оправа уровня служитъ для наложенія его на ту прямую линію или плоскость, которая подлежитъ изслѣдованію относительно своей горизонтальности. Оправа, по внѣшнему своему виду, бываетъ различна: Видъ оправы зависитъ отъ того, что предназначается ли уровень для постановки на плоскость, на цилиндрическую поверхность (наприм. ось вращенія), или для прикрѣпленія его къ вертикальному кругу инструмента. Каково бы не было устройство оправы, при хорошихъ уровняхъ она имѣетъ всегда винты, при помощи которыхъ достигается точное выполненіе требуемыхъ отъ уровня условій. Эти винты называются *исправительными*.

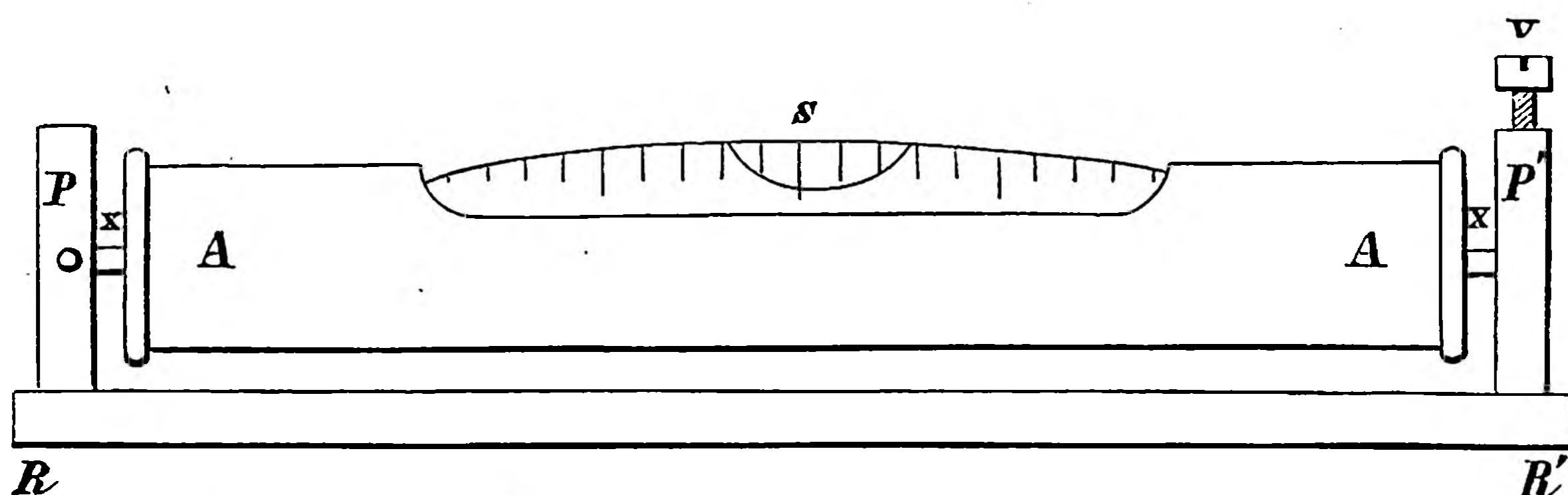
За невозможностью сдѣлать описаніе всѣхъ употребительныхъ оправъ уровня, приведемъ здѣсь только тѣ изъ нихъ, которыя чаще встрѣчаются.

<sup>1)</sup> Мюнхенскій механикъ *Георгій Рейхенбахъ* род. въ 1772 году, ум. въ 1826 году. О *Фраунгоферѣ* см. выноску въ § 39.



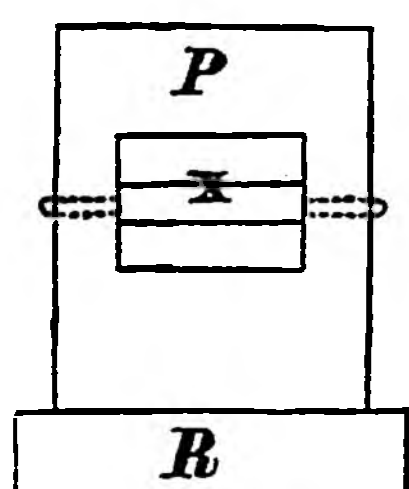
Черт. 66 представляет цилиндрической уровень вместе съ оправою, предназначенный для постановки на плоскость. Оправа состоитъ изъ мѣднаго цилиндра  $AA$  съ продолговатымъ вырѣзомъ наверху, сквозь который видно положеніе пузырька стеклянной трубки уровня, вставленной въ цилиндръ. Основанія цилиндра имѣютъ выступы  $xx$ , которые входятъ въ вырѣзы ножекъ  $P$  и  $P'$ , укрѣпленныхъ на мѣдной линейчкѣ  $RR'$ . Одинъ изъ выступовъ, входя въ отверстие ножки  $P$ , удерживается въ ней штифтомъ, около котораго онъ можетъ поворачиваться какъ около оси (черт. 66а, изображающій фасъ ножки  $P$ ); а чрезъ другой,

Черт. 66.

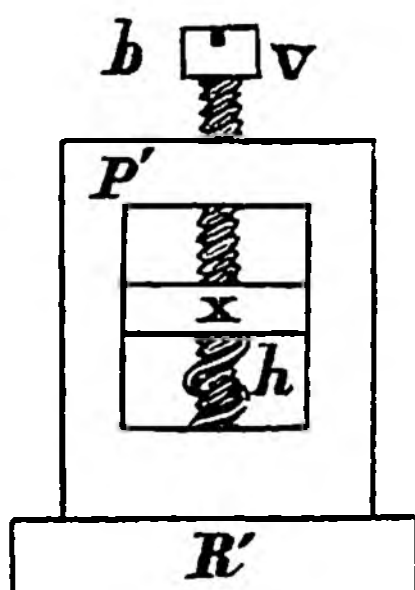


имѣющій внутри винтовую нарѣзку и вложенный въ отверстие ножки  $P'$  (изображенной на черт. 66б въ фасъ), проходитъ *исправительный* винтъ  $v$ , который можетъ только вращаться, но не подается ни въ ту, ни въ другую

Черт. 66а.



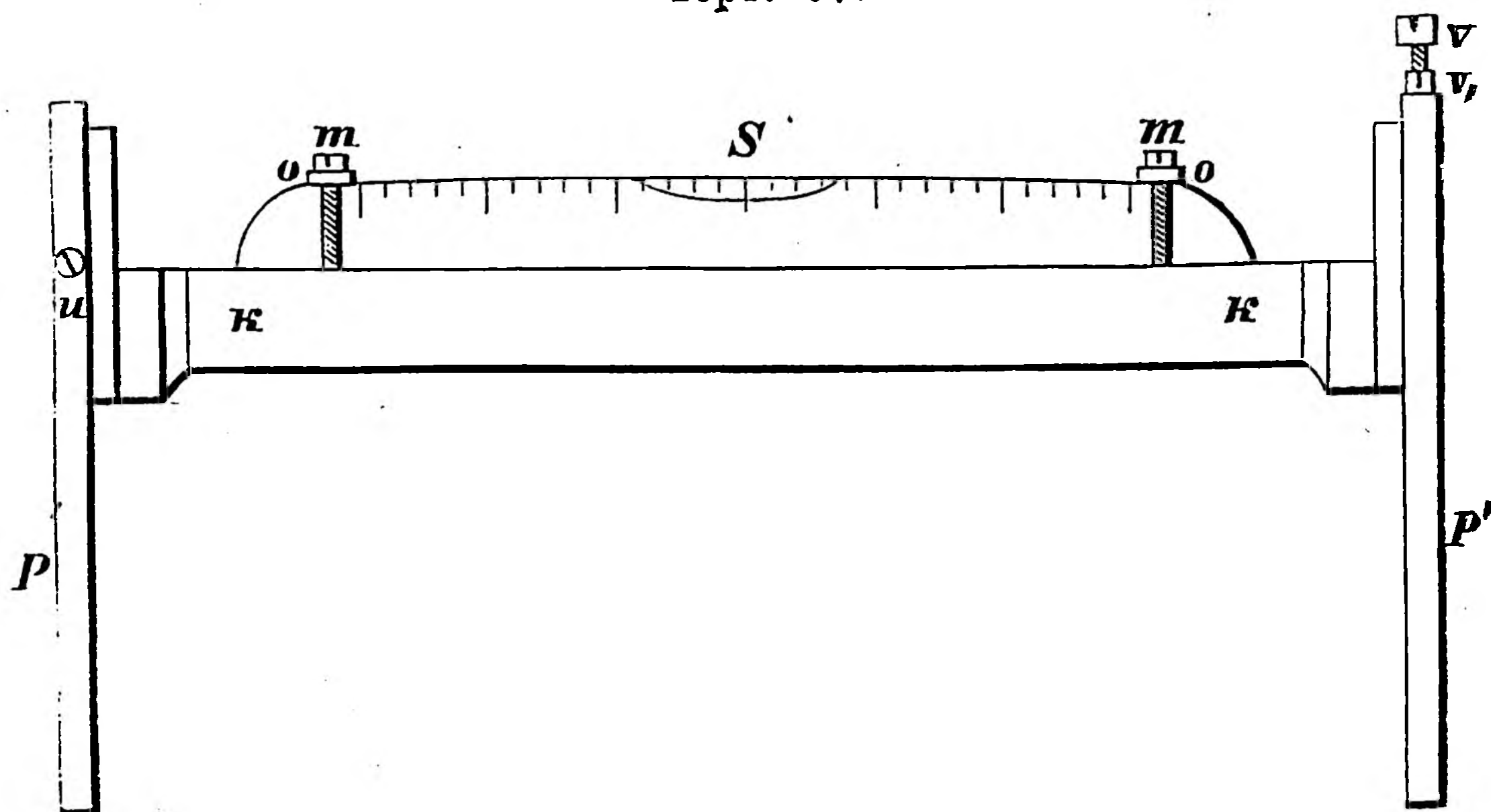
Черт. 66б.



сторону. Выступъ  $x$  при вращеніи винта  $v$  будетъ или опускаться, или подниматься, а вмѣстѣ съ этимъ и ось уровня будетъ наклоняться въ ту или другую сторону. Для болѣе правильнаго дѣйствія винта  $v$  низъ его обернуть спиральною пружиною  $h$ , упирающеюся однимъ концомъ въ край отверстия, а другимъ въ выступъ  $x$ .

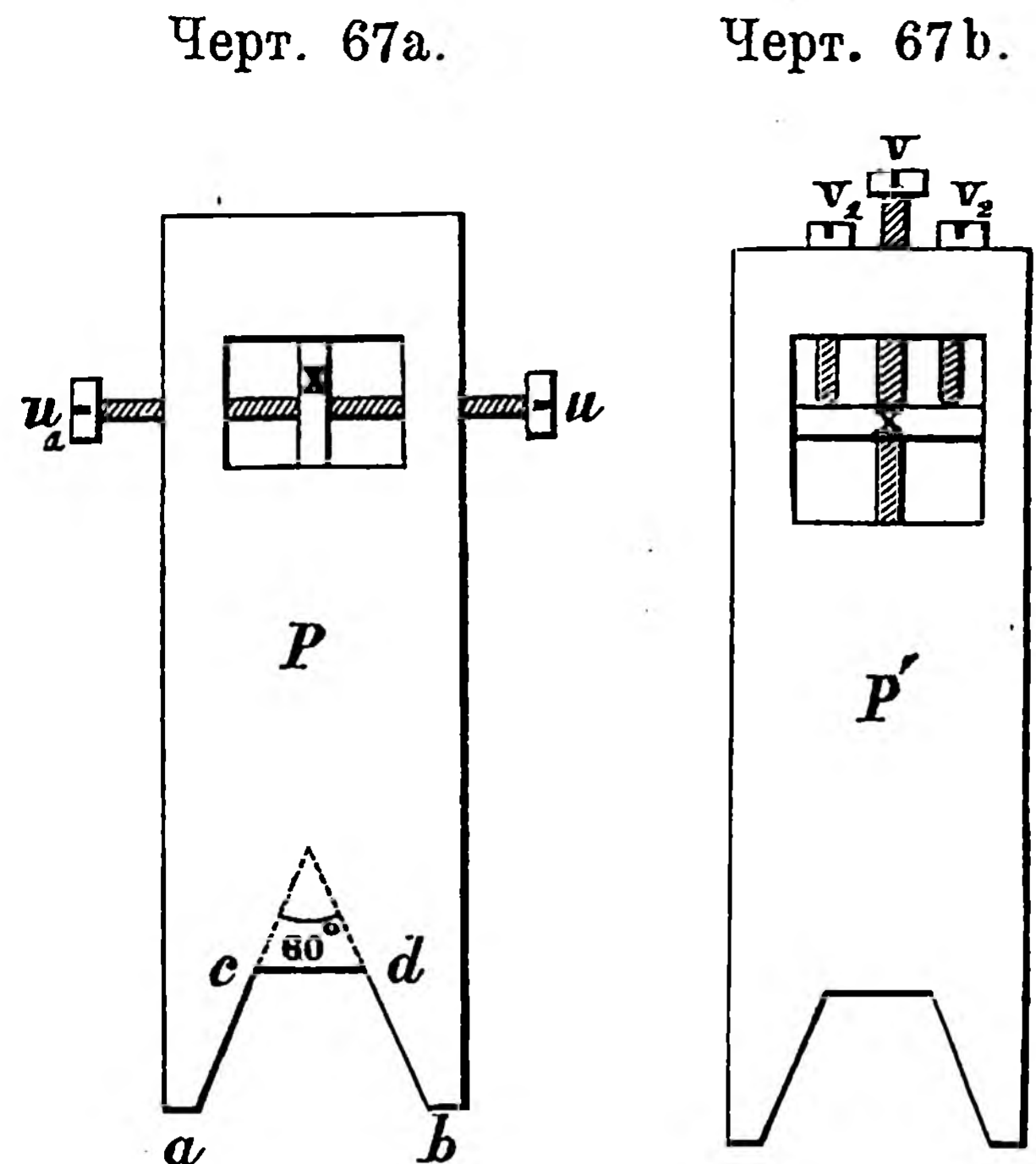
На черт. 67 изображенъ цилиндрической уровень въ оправѣ, пред-

Черт. 67.



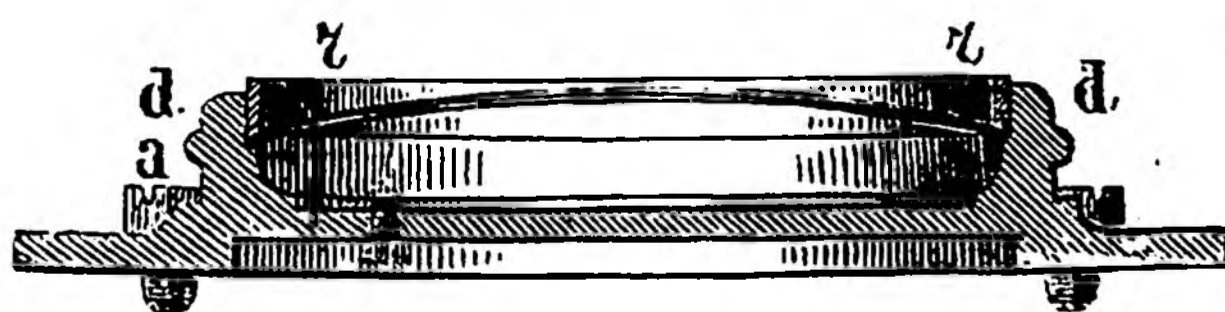
назначенный для постановки на горизонтальную ось вращенія трубы. Стеклянная трубка вложена въ корытце  $kk$  и прижимается къ нему двумя

пластинками  $oo$  съ 4 винтами  $mm$ . Корытце имѣетъ выступы  $xx$ , входящіе въ отверстія ножекъ  $P$  и  $P'$ , которыми уровень ставится на ось и которыя изображены въ фасѣ на чертежахъ 67а и 67б. Ножки имѣютъ на нижнихъ своихъ концахъ вырѣзы, сдѣланные такъ, что стороны  $ac$  и  $bd$  наклонены другъ къ другу подъ угломъ  $60^\circ$ . Такъ какъ выступы  $xx$  расположены перпендикулярно другъ къ другу, то одинъ изъ нихъ, входящій въ отверстіе ножки  $P$ , можетъ быть передвигаемъ въ горизонтальной плоскости вправо или влево винтами  $u$  и  $u_1$ ; а другой, входящій въ отверстіе ножки  $P'$ , можетъ быть передвигаемъ въ вертикальной плоскости помощью винта  $v$ , ослабивъ предварительно винты  $v_1$  и  $v_2$ , концы которыхъ упираются въ выступъ  $x$  и тѣмъ сообщаютъ ему болѣе надежное положеніе. Винты  $u$ ,  $u_1$  и  $v$  суть *исправительные*. По направленію одной изъ образующихъ цилиндрической стеклянной трубки найдутся равныя между собою дѣленія, служащія для точнаго приведенія середины безвоздушнаго пузырька на средину трубки и для опредѣленія малыхъ угловъ наклоенія оси уровня. Счетъ этихъ дѣленій ведется въ большинствѣ случаевъ отъ штриха, назначеннаго на срединѣ стеклянной трубки и обозначаемого нулемъ.



Наконецъ черт. 68 есть разрѣзь оправы круглаго уровня. Круглая мѣдная коробка имѣетъ стеклянную крышку  $rr$ , герметически закрывающую внутренность. Для наполненія уровня жидкостью въ днѣ его сдѣлано отверстіе, закрытое винтомъ. На верхней поверхности крышки

Черт. 68.

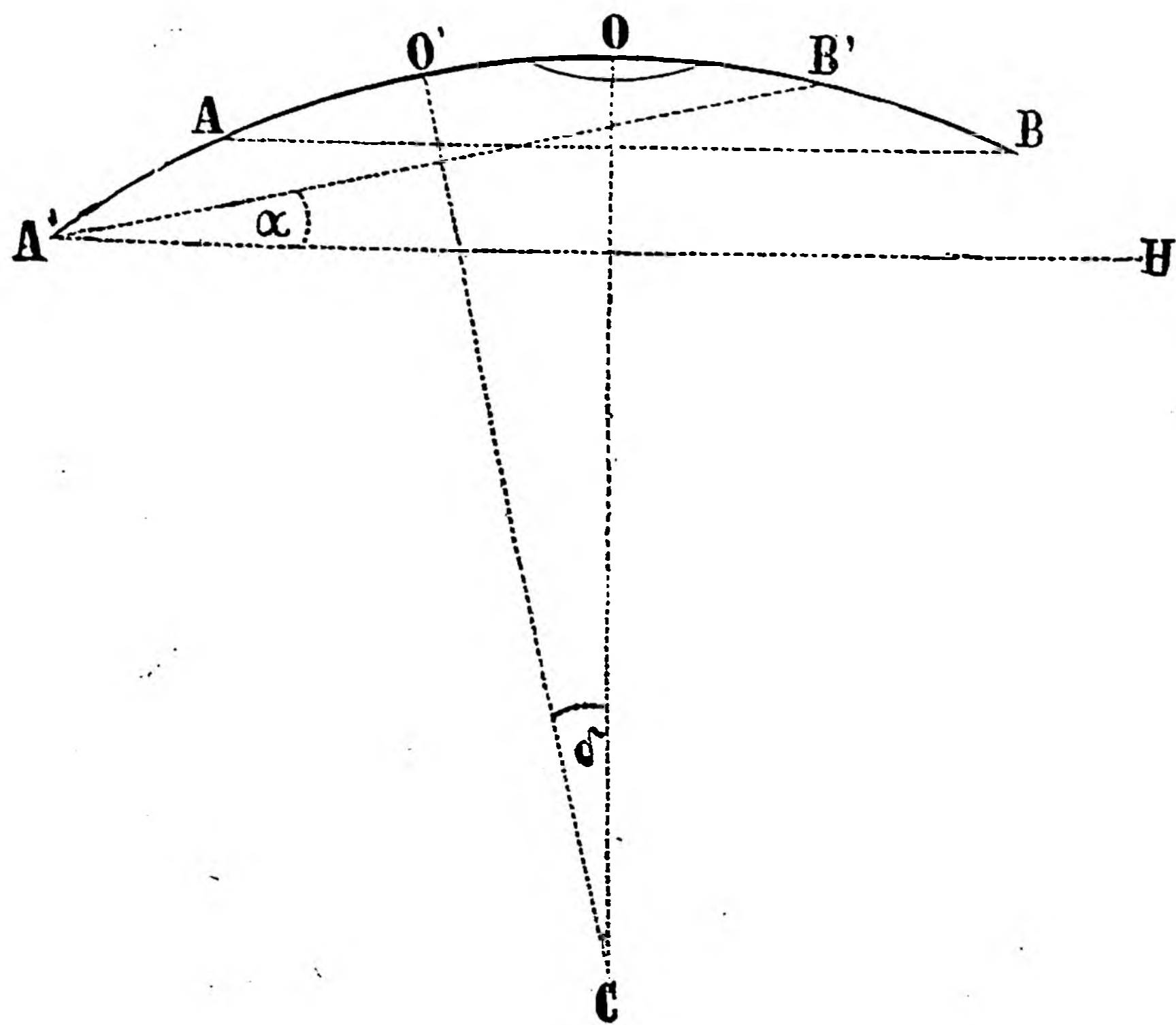


начерченъ небольшой кругъ, центръ котораго совпадаетъ съ центромъ крышки. Этотъ кругъ служитъ для того, чтобы судить о вѣрности положенія пузырька уровня. Мѣдная коробка  $dd$  оканчивается внизу кругомъ, которымъ уровень ставится прямо на плоскость инструмента; иногда же, чрезъ этотъ кругъ проходятъ три равно-отстоящіе другъ отъ друга *исправительные* винта  $a$ , концами которыхъ уровень прикасается къ плоскости инструмента.

§ 62. Безвоздушный пузырекъ, какъ тѣло болѣе легкое чѣмъ жидкость, которою наполненъ уровень, долженъ занимать всегда высшее мѣсто. Вслѣдствіе этого при горизонтальномъ положеніи оси  $NN'$  (черт. 64) цилиндрическаго уровня высшею точкою дуги  $ab$  будетъ середина ея  $O$ , потому что касательная къ дугѣ въ этой точкѣ горизонтальна и середина пузырька должна будетъ совпадать съ  $O$  или, какъ говорятъ,

съ серединою стеклянной трубки; точно также, при отвѣсномъ положеніи оси  $OC$  (черт. 65) круглаго уровня, середина пузырька должна совмѣщаться съ центромъ круглой стеклянной крышки. При наклоненіи оси уровня середина пузырька его отойдетъ отъ середины трубки или крышки и дуга, заключающаяся между этими точками, будетъ измѣрять уголъ уклоненія оси уровня отъ вертикальнаго или горизонтальнаго положенія. Для круглаго уровня это очевидно, ибо дуга  $OO'$  (черт. 69) между серединою крышки и серединою пузырька измѣряетъ центральный уголъ

Черт. 69.



$OCO' = \delta$ , выражающій уклоненіе оси  $O'C$  отъ отвѣснаго ея положенія  $OC$ . Не трудно показать, что въ случаѣ цилиндрическаго уровня та же дуга измѣряетъ уголъ наклоненія оси уровня. Дѣйствительно, если  $A'B'$  есть ось цилиндрическаго уровня, наклоненная къ горизонту подъ угломъ  $B'A'H$ , то, по причинѣ перпендикулярности сторонъ, углы  $B'A'H$  и  $OCO'$  равны; слѣдов.  $OO'$  измѣряетъ также и уголъ  $B'A'H = \alpha$ .

Для опредѣленія градусной величины дуги  $OO'$ , достаточно

знать число дѣленій уровня, заключающееся въ ней, и градусную величину одного такого дѣленія, называемую *угловою его величиною* или *цѣною дѣленія*, ибо, если число дѣленій, заключающееся въ  $OO'$ , есть  $n$ , а цѣна дѣленія есть  $\eta$ , то

$$\alpha = n\eta.$$

Такъ какъ  $n$  не можетъ быть опредѣлено непосредственно, вслѣдствіе невозможности замѣтить дѣленіе, соотвѣтствующее серединѣ пузырька, то оно вычисляется по отсчетамъ, которые дѣлаются по концамъ пузырька. При этомъ могутъ быть 2 случая: или весь пузырекъ уровня помѣщается по одну какую нибудь сторону середины  $O$  трубки, или одна часть его расположена по одну сторону этой середины, а другая часть по другую. Если въ обоихъ случаяхъ лѣвый конецъ пузырька уровня, а также число дѣленій уровня между серединою трубки и лѣвымъ концомъ пузырька, иначе *показаніе лѣваго конца пузырька* обозначимъ чрезъ  $a$ , правый конецъ пузырька и показаніе его чрезъ  $b$ , а чрезъ  $m$  — середину пузырька, то можно доказать, что

$$mO = n = \frac{1}{2}(a + b).$$

Дѣйствительно, въ случаѣ чертежа 70 имѣемъ:

$$mO = aO - mA = aO - \frac{aO - bO}{2} = \frac{1}{2}(aO + bO) = \frac{1}{2}(a + b);$$

а изъ чертежа 71 имѣемъ:

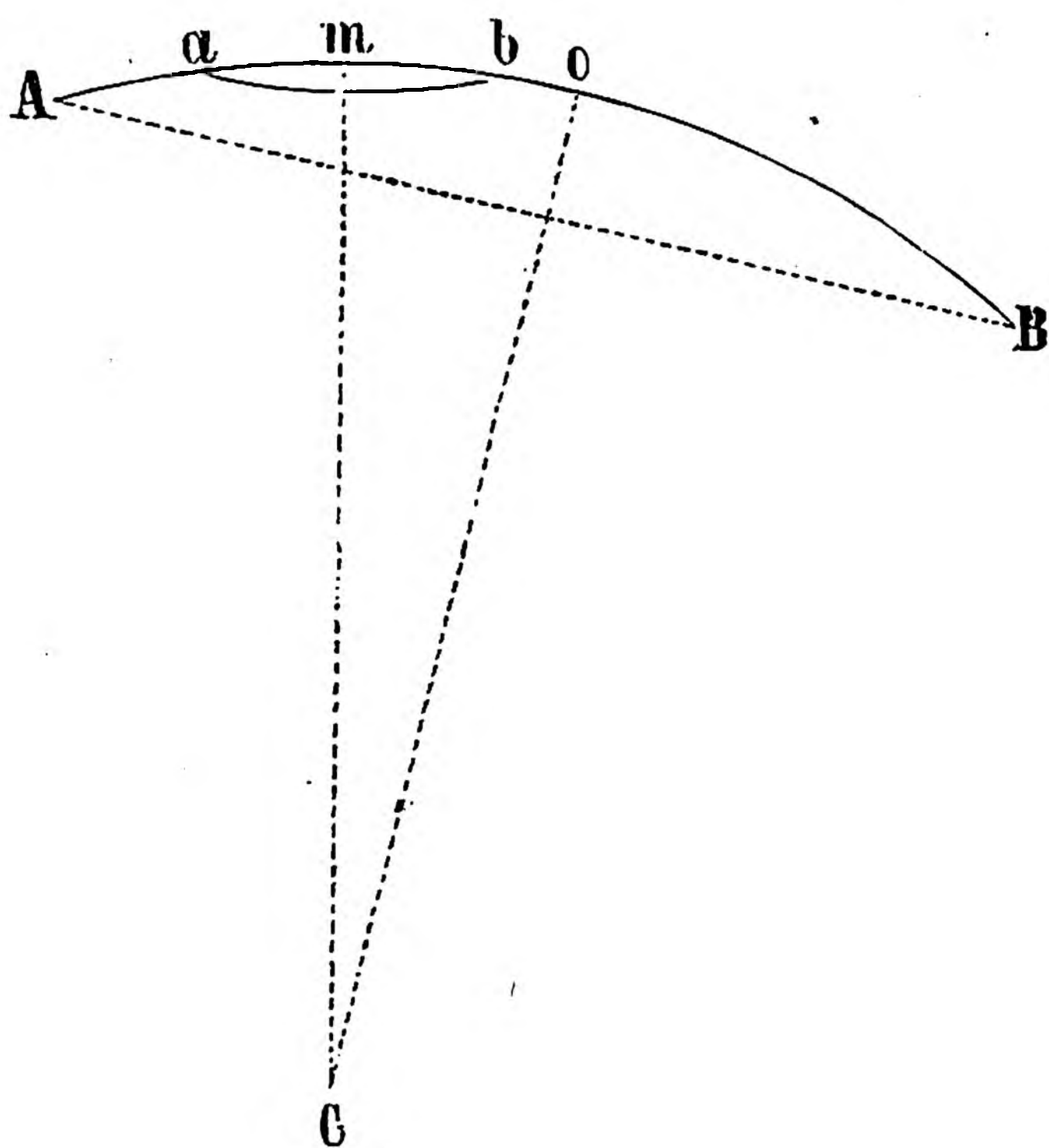
$$m_o = a_o - a_m = a_o - \frac{a_o + o_b}{2} = \frac{1}{2}(a_o - o_b) = \frac{1}{2}(a - b).$$

Объ формулы:

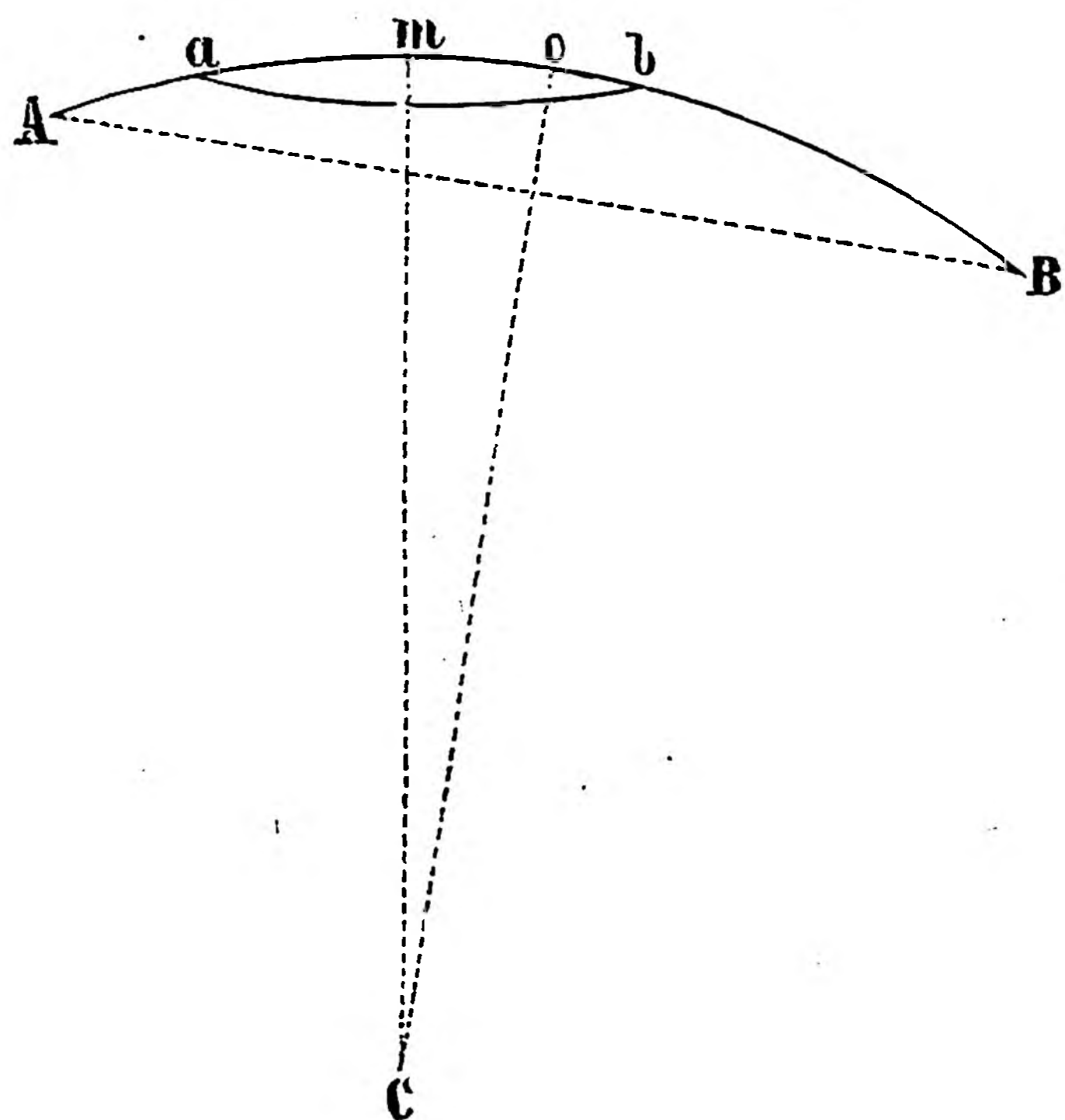
$$m_o = n = \frac{1}{2}(a + b) \text{ и } m_o = n = \frac{1}{2}(a - b)$$

можно привести къ одной первой, если условимся отсчеты по концамъ пузырька уровня сопровождать однимъ какимъ-нибудь знакомъ (+ или —) въ томъ случаѣ, когда оба отсчета сдѣланы въ одну сторону — или по дугѣ, лежащей влѣво отъ середины трубки уровня, или по дугѣ, лежащей вправо — и разными знаками, когда одинъ изъ нихъ сдѣланъ по лѣвой,

Черт. 70.



Черт. 71.



а другой по правой дугѣ. Знакъ результата будетъ при этомъ показывать, что повышена та часть дуги уровня, которая имѣетъ одинаковый съ нимъ знакъ. Легко убѣдиться въ справедливости этого, — въ самомъ дѣлѣ, условимся напр. отсчеты, дѣлаемые влѣво отъ O сопровождать знакомъ +, а отсчеты вправо знакомъ —; тогда для черт. 70 имѣемъ:

$$n = \frac{1}{2}(+a + (+b)) = +\frac{1}{2}(a + b),$$

а для черт. 71:

$$n = \frac{1}{2}(+a - (-b)) = +\frac{1}{2}(a + b).$$

Слѣдов., во-первыхъ, объ формулы обращаются въ одну и, во-вторыхъ, знакъ результата одинаковъ со знакомъ повышенной части дуги уровня. Если бы условіе было обратное, то имѣли бы:

$$\text{(черт. 70)} \quad n = \frac{1}{2}(-a + (-b)) = -\frac{1}{2}(a + b),$$

$$\text{(черт. 71)} \quad n = \frac{1}{2}(-a - (+b)) = -\frac{1}{2}(a + b),$$

что опять согласуется со сказаннымъ выше.

И такъ, *общая* формула для опредѣленія разстоянія середины пузырька отъ середины трубки, выраженного въ дѣленіяхъ уровня, есть:

$$n = \frac{1}{2} (a + b).$$

А потому, формула для угла наклоненія  $\alpha$  оси уровня будетъ

$$\alpha = \frac{1}{2} (a + b) \eta,$$

гдѣ  $\eta$ , какъ и прежде, есть цѣна дѣленія уровня, которая для различныхъ уровней различна; а именно: въ цилиндрическихъ уровняхъ она измѣняется отъ 2" до 30", а въ круглыхъ отъ 2' до 5'.

**§ 63.** Уровень считается тѣмъ чувствительнѣе, чѣмъ болѣе уклоняется середина пузырька его отъ середины трубки или круглой крышки при одномъ и томъ же наклоненіи его оси. На этомъ основаніи, *чувствительностью* уровня называется отношеніе длины дуги, заключающейся между серединою трубки  $O$  (черт. 70 и 71) и серединою  $m$  пузырька, къ градусной величинѣ угла уклоненія оси уровня отъ горизонтальнаго или вертикальнаго положенія; такъ что, если длину дуги  $om$ , выраженную въ частяхъ радіуса, назовемъ чрезъ  $d$ , а уголъ наклоненія оси  $AB$  цилиндрическаго уровня къ горизонтальной линіи или уклоненіе оси круглаго уровня отъ вертикальной линіи — чрезъ  $\alpha$ , то чувствительность уровня  $= \frac{d}{\alpha}$ . Обозначивъ радіусъ дуги уровня чрезъ  $R$  и выражая окружность въ секундахъ, имѣемъ:

$$d : \alpha = 2\pi R : 360^\circ . 60 . 60 .$$

Но  $2\pi : 360^\circ . 60 . 60$ , равное  $\frac{1}{206265}$ , есть длина дуги въ 1" при радіусѣ  $= 1$ , которая, въ свою очередь, всегда можетъ быть принимаема равною  $\sin 1''$ ; поэтому

$$\frac{d}{\alpha} = R \sin 1'' .$$

Отсюда видимъ, что чувствительность, уровня прямо пропорціональна его радіусу. Если бы внутренняя поверхность цилиндрическаго уровня не имѣла кривизны по направленію его оси, то чувствительность такого уровня была бы безконечно велика, ибо  $R$  равно безконечности, и при малѣйшемъ наклоненіи оси этого уровня пузырекъ отходилъ бы къ приподнятому концу трубки, а при горизонтальномъ ея положеніи онъ останавливался бы на произвольномъ мѣстѣ образующей трубки. Это и объясняетъ то, почему простыя цилиндрическія трубки и плоскія стеклянныя крышки для уровней неудобны. Радіусъ уровня имѣетъ различныя длины: въ круглыхъ уровняхъ онъ около 5 футовъ, тогда какъ въ очень чувствительныхъ цилиндрическихъ уровняхъ достигаетъ 1000 футовъ.

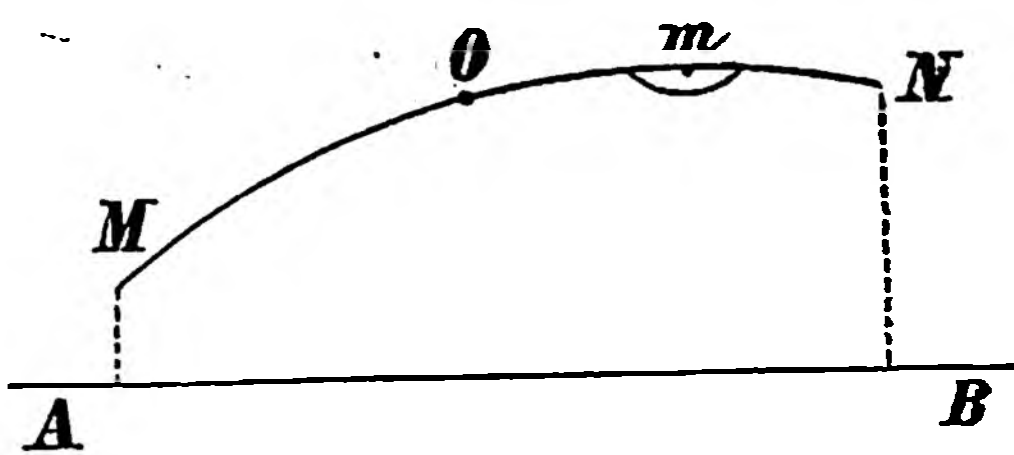
Кромѣ предыдущей математической зависимости, чувствительность уровня обусловливается еще нѣкоторыми физическими причинами, а именно: она зависитъ отъ отношенія ширины цилиндрической трубки

къ длинѣ, отъ величины пузырька, отъ налитой въ него жидкости и отъ температуры ея. Чѣмъ шире трубка, тѣмъ меньше вліяніе оказываетъ сцѣпленіе между внутренними стѣнками ея и частицами жидкости, а слѣд. и тѣмъ быстрѣе передвиженіе пузырька. Опытъ показалъ, что ширина трубки не должна быть менѣе  $\frac{1}{9}$  и не болѣе  $\frac{1}{6}$  ея длины. Опытъ показалъ также, что длина безвоздушнаго пузырька тогда только вліяетъ на чувствительность уровня, когда она болѣе  $\frac{1}{3}$  и менѣе  $\frac{1}{3}$  длины трубки. Сѣрный эфиръ отличается болѣею подвижностью, чѣмъ винный спиртъ, и небольшія неправильности внутренней поверхности трубки имѣютъ при первой жидкости меньшее значеніе. Наконецъ, относительно температуры, при увеличеніи которой пузырекъ уровня уменьшается, надо замѣтить, что равномерное нагрѣваніе всей массы жидкости имѣетъ такое малое вліяніе на чувствительность, что можетъ быть пренебрегаемо. Въ самомъ дѣлѣ, *В. Струве*<sup>1)</sup> обнаружилъ, что при измѣненіи длины пузырька отъ 14 до 37 дѣленій уровня при нагрѣваніи жидкости, чувствительность измѣняется не болѣе какъ на 0,3 секунды. Неравномерное же нагрѣваніе жидкости, иначе, мѣстное измѣненіе температуры ея, дѣйствуетъ на положеніе пузырька, который отодвигается при этомъ въ сторону источника теплоты; а потому, чувствительные уровни должны быть защищены дурными проводниками тепла (бумагою) или двойною оправою. При употребленіи чувствительныхъ уровней въ полѣ, ихъ надо защищать зонтомъ<sup>2)</sup>.

Иногда и равномерное нагрѣваніе жидкости можетъ быть причиною неправильнаго передвиженія пузырька, и именно это случится тогда, когда, вслѣдствіе неправильной шлифовки внутренней поверхности уровня, середина пузырька не совмѣстится съ серединою трубки при горизонтальномъ положеніи оси уровня. Такъ если *AB* (чертежъ 72) есть горизонтальное положеніе оси уровня и середина *m* пузырька не совмѣщается съ серединою *o* трубки, то при равномерномъ нагрѣваніи жидкости масса ея, находящаяся въ сторонѣ *Mm*, будетъ давить на пузырекъ сильнѣе, чѣмъ масса находящаяся въ сторонѣ *mN*, а потому и пузырекъ передвинется къ концу *N* уровня.

Такъ какъ это передвиженіе тѣмъ болѣе, чѣмъ сильнѣе нагрѣваніе жидкости, то отсюда слѣдуетъ, что положеніе пузырька уровня, при горизонтальномъ положеніи его оси, различно при различныхъ температурахъ. Въ томъ же случаѣ, когда при горизонтальномъ положеніи оси середина пузырька совмѣщается съ серединою трубки, это совмѣщеніе будетъ происходить и при всякой другой температурѣ. Это и

Черт. 72.



1) Бывшій директоръ Пулковской астрономической обсерваторіи и академикъ *В. Я. Струве* род. въ 1793 г. въ Альтонѣ (Пруссія), а ум. въ 1864 г. въ С.-Петербургѣ.

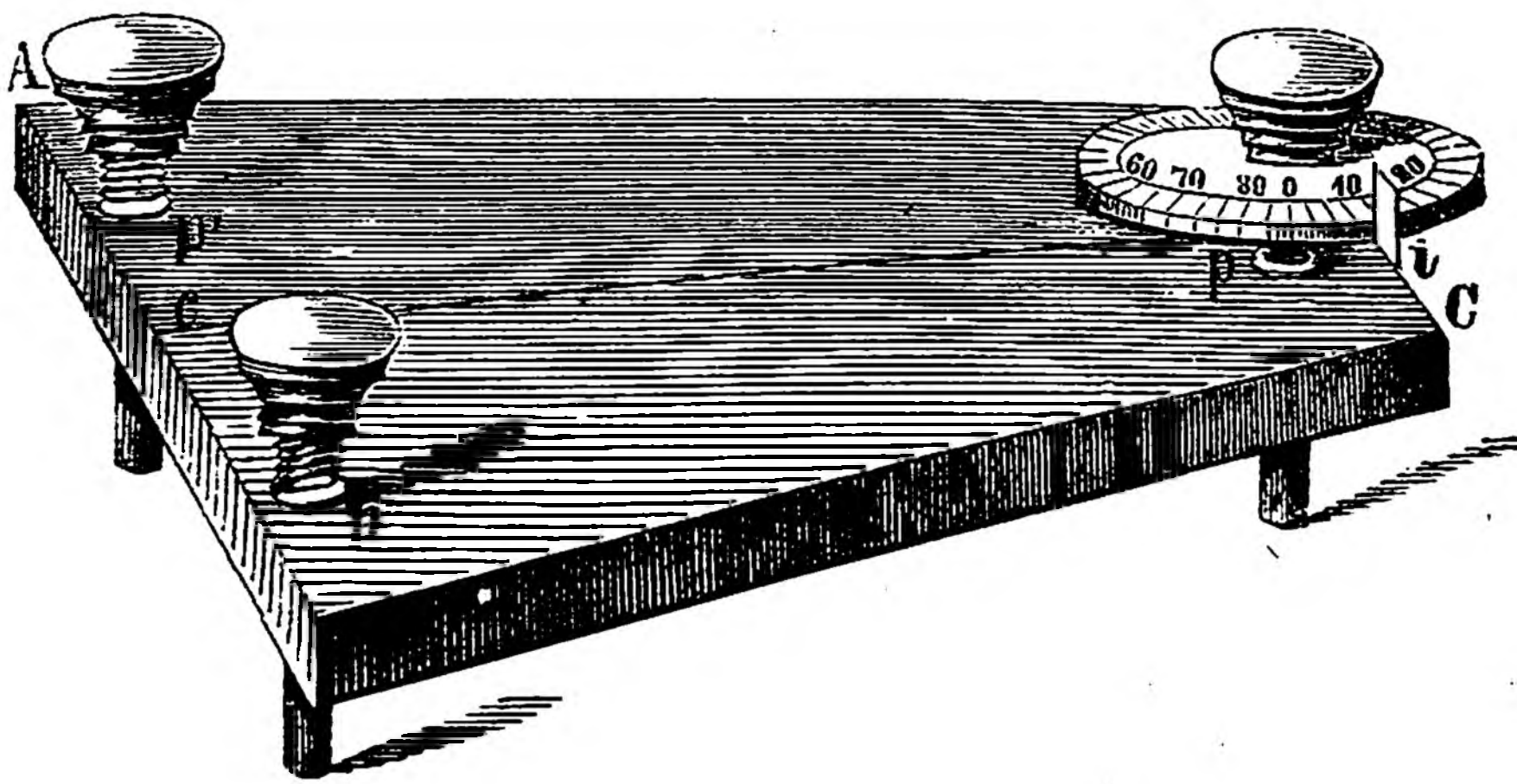
2) Неправильное положеніе пузырька уровня, вызываемое неравномернымъ нагрѣваніемъ жидкости, впервые замѣчено *Ла-Шапельемъ* (приватнымъ астрономомъ въ Монтобанѣ) и описано въ *Connaiss. des temps* за 1802 годъ.

оправдываетъ необходимость того, чтобы совмѣщенію середины пузырька съ серединою трубки соотвѣтствовало горизонтальное положеніе оси.

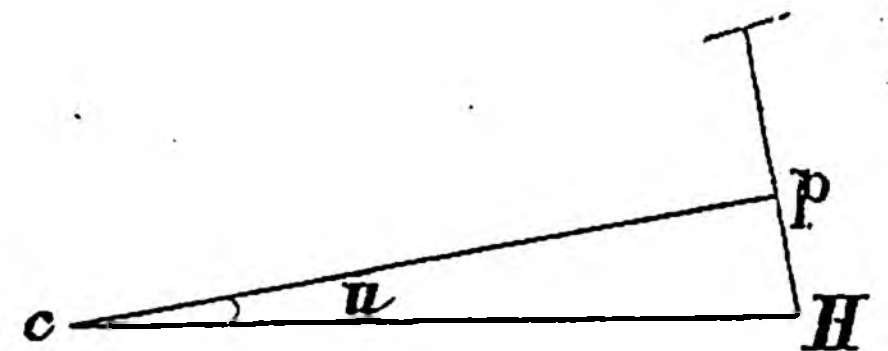
Такъ какъ, при значительныхъ измѣненіяхъ температуры, пузырекъ уровня тоже значительно измѣняетъ длину, то для регулированія ея въ хорошихъ цилиндрическихъ уровняхъ въ послѣднее время оставляется пустая камера  $k$  (черт. 64), отдѣленная стеклянною перегородкою  $H$  съ отверстіемъ внизу. Если пузырекъ слишкомъ великъ, то наклоненіемъ уровня впускаютъ въ камеру часть паровъ эфира; въ противномъ случаѣ, перегоняютъ ихъ такимъ же путемъ изъ камеры въ трубку.

§ 64. Опредѣленіе  $\eta$  — угловой величины одного дѣленія уровня, производится посредствомъ особаго снаряда, извѣстнаго подъ названіемъ *испытателя уровней*. Существенную часть его составляетъ стеклянная доска  $AC$  (черт. 73), чрезъ которую проходятъ *подъемные* винты  $p, p', p''$ , размѣщенные такъ, что линіи, соединяющія концы винтовъ, образуютъ равнобедренный треугольникъ. Къ головкѣ винта  $p$  прикрѣпленъ кругъ, окружность котораго раздѣлена на 100 равныхъ частей; вслѣдствіе чего по индексу  $i$  можно опредѣлять: полные обороты винта, десятыя

Черт. 73.



Черт. 74.



и сотыя ихъ доли, и на глазъ, по оцѣнкѣ, тысячныя доли. На верхней поверхности доски прочерчена линія, соединяющая середину винта  $p$  съ точкою  $c$ , дѣлящею пополамъ линію соединенія середины винтовъ  $p'$  и  $p''$ .

Если испытываемый уровень въ оправѣ, то онъ ставится прямо по направленію линіи  $pc$ ; если же не имѣетъ оправы, то кладется на вилки, помѣщаемыя на линіи  $pc$ . Отсюда понятно, что если, поворачивая винтъ  $p$ , наклоненіе линіи  $pc$  къ горизонту измѣнится на нѣкоторый уголъ, то на тотъ же уголъ измѣнится и наклоненіе къ горизонту оси уровня, стоящаго на испытателѣ по направленію  $pc$ .

Для опредѣленія угловой величины одного дѣленія уровня посредствомъ *испытателя*, необходимо знать величину угла наклоненія линіи  $pc$ , соотвѣтствующую одному полному обороту винта  $p$ ; поэтому покажемъ сначала способъ опредѣленія величины этого угла. Если  $cH$  (черт. 74) есть линія, съ которою  $cp$  предварительно совпадала, то послѣ полнаго оборота винта эта послѣдняя составитъ съ  $cH$  уголъ  $u$ . Обозначивъ длину  $pH$ , выражающую высоту одной нарѣзки винта чрезъ  $h$ , а длину  $cp$  — чрезъ  $d$ , имѣемъ:

$$h = d \operatorname{tg} u; \text{ откуда } \operatorname{tg} u = \frac{h}{d}.$$

Но такъ какъ по малости угла  $u$

$$\operatorname{tg} u = \sin u = u \sin 1'',$$

то

$$u = \frac{h}{d \sin 1''}.$$

Слѣдовательно опредѣленіе  $u$  сводится на опредѣленіе  $h$  и  $d$ , которыя измѣряются непосредственно на самомъ снарядѣ слѣдующимъ образомъ: подложивъ подъ испытатель листъ бумаги, получаютъ на немъ 3 точки, представляющія оттиски оконечностей винтовъ  $p$ ,  $p'$  и  $p''$  (черт. 73); соединивъ точку, дѣлящую линію оконечностей винтовъ  $p'$  и  $p''$  пополамъ, съ точкою винта  $p$  и измѣривъ полученную линію, имѣемъ длину  $d$ ; чтобы получить высоту  $h$  одной нарѣзки винта  $p$ , вывертываютъ его изъ гнѣзда и надавливаютъ нарѣзками на кусокъ мягкаго дерева; послѣ чего, измѣряютъ разстояніе между крайними оттисками нарѣзокъ и дѣлятъ на число промежутковъ, — частное дастъ  $h$ . Такъ какъ  $u$  соотвѣтствуетъ полному обороту винта или, иначе, круга  $k$ , раздѣленнаго на 100 частей, то уголъ  $z$ , соотвѣтствующій 0,01 доли оборота того же круга, будетъ

$$z = \frac{u}{100}.$$

Зная  $u$  или  $z$ , величина одного дѣленія уровня опредѣляется такъ: ставятъ уровень на испытатель по направленію линіи  $cp$ , приводятъ нуль дѣленій круга  $k$  въ совпаденіе съ указателемъ  $i$  и, вращая винты  $p'$  и  $p''$  въ одну какую нибудь сторону, приближаютъ пузырекъ къ одному изъ концовъ трубки настолько, чтобы можно было отсчитать число дѣленій, показываемыхъ каждымъ изъ его концовъ. Затѣмъ вращаютъ винтъ  $p$  такъ, чтобы пузырекъ перешелъ къ другому концу трубки и дѣлаютъ вновь отсчеты по концамъ пузырька и по индексу  $i$  круга. Пусть отсчеты, сдѣланные по концамъ пузырька, въ первый разъ были  $a$  и  $b$ , во второй разъ  $a'$  и  $b'$ , и пусть винтъ  $p$  повернулся при этомъ на  $m$  дѣленій; тогда, обозначивъ число дѣленій между серединою трубки и серединою пузырька при первомъ его положеніи, равное  $\frac{1}{2}(a+b)$ , чрезъ  $s'$ , число дѣленій при второмъ положеніи пузырька, равное  $\frac{1}{2}(a'+b')$ , чрезъ  $s''$ , а  $s'+s''$  или дугу, пройденную серединою пузырька при передвиженіи его отъ одного конца трубки къ другому, чрезъ  $s$ , измѣненіе угла наклоненія оси уровня будетъ  $s\eta$ , гдѣ  $\eta$  есть неизвѣстная еще угловая величина одного дѣленія уровня. Измѣненіе же угла наклоненія линіи  $cp$ , вслѣдствіе того же поворота винта, есть  $mz$ . А такъ какъ измѣненіе угла наклоненія линіи  $cp$  равно измѣненію наклоненія оси уровня, то

$$s\eta = mz.$$

Откуда, по извѣстнымъ  $s$ ,  $m$  и  $z$  можно было бы опредѣлить  $\eta$ ; но для большей точности результата не довольствуются этимъ, а дѣйствуя винтами  $p'$  и  $p''$  снова передвигаютъ пузырекъ уровня къ первому концу трубки и дѣлаютъ отсчеты по концамъ пузырька, снова вращеніемъ винта  $p$  передвигаютъ пузырекъ ко второму концу и дѣлаютъ отсчеты какъ по концамъ пузырька, такъ и по индексу, и повторають предыдущія дѣйствія до тѣхъ поръ, пока винтъ  $p$  сдѣлаетъ полный оборотъ; при чемъ сумма  $m + m_1 + m_2 + m_3 + \dots$  сдѣлается равною 100.



Изъ отдѣльныхъ опредѣленій имѣемъ:

$$s\eta = mz$$

$$s_1\eta = m_1z$$

$$s_2\eta = m_2z$$

$$s_3\eta = m_3z$$

$$\dots\dots\dots;$$

откуда  $(s + s_1 + s_2 + s_3 + \dots)\eta = (m + m_1 + m_2 + m_3 + \dots)z$ .

Но

$$z = \frac{u}{100};$$

поэтому

$$(s + s_1 + s_2 + s_3 + \dots)\eta = u;$$

откуда

$$\eta = \frac{u}{s + s_1 + s_2 + s_3 + \dots}.$$

Къ этому надо прибавить, что для большей точности опредѣленія  $\eta$ , испытываемый уровень кладется на испытатель за часъ и болѣе до начала наблюденія для того, чтобы онъ могъ принять температуру комнаты, въ которой помѣщается испытатель. Кромѣ того, мѣсто производства наблюденій должно быть прочное и наблюдатель, сообщивъ своему тѣлу удобное положеніе, не долженъ его измѣнять до конца всѣхъ наблюденій. Лицо наблюдателя должно быть возможно удалено отъ испытателя, чтобы его дыханіе не могло измѣнить положеніе пузырька.

По данному  $\eta$  можно опредѣлить радіусъ  $R$  уровня, ибо изъ формулы  $\frac{d}{\alpha} = R \sin 1''$  имѣемъ

$$R = \frac{1}{\sin 1''} \cdot \frac{d}{\alpha}.$$

Если примемъ  $\alpha = \eta$ , то  $d$  выразитъ длину одного дѣленія уровня, измѣривъ которую непосредственно на самомъ уровнѣ и выразивъ, напр., въ дюймахъ, получимъ

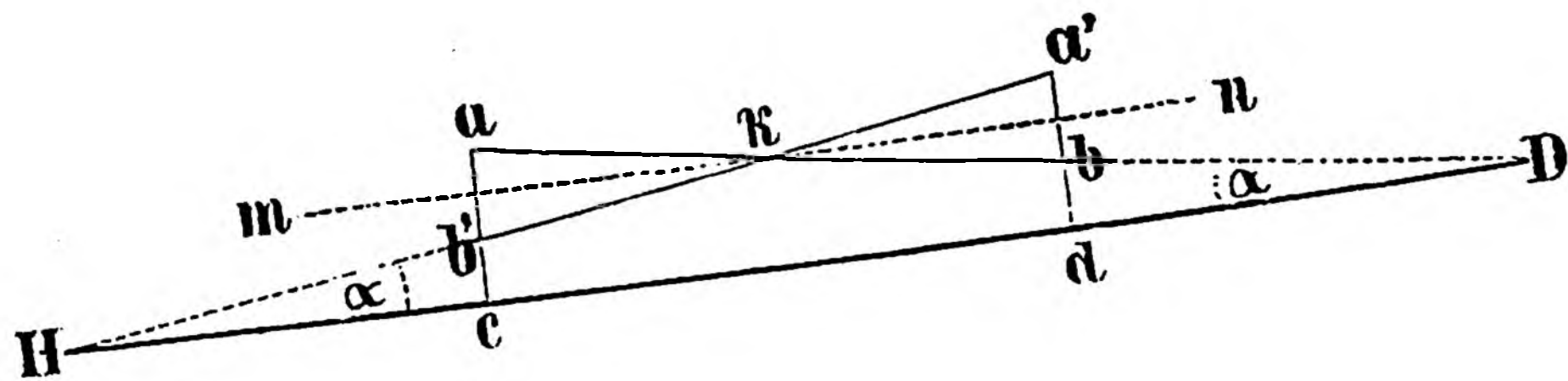
$$R = \frac{1}{\sin 1''} \cdot \frac{d}{\eta} \text{ дюймовъ.}$$

§ 65. Для правильнаго и быстраго употребленія уровней необходимо, чтобы они удовлетворяли нѣкоторымъ условіямъ, возможно точное выполненіе которыхъ должно быть повѣрено.

а) Отъ цилиндрическаго уровня, переставляющагося на плоскости инструмента, требуется, чтобы ось его была параллельна нижней плоскости подставки; напр. нижней плоскости линейки  $RR'$  на черт. 66. Для повѣрки этого условія берутъ доску, имѣющую хотя бы одинъ подъемный винтъ, посредствомъ котораго можно бы было измѣнять наклоненіе ея къ горизонту; ставятъ на нее испытываемый уровень приблизительно по направленію на подъемный винтъ и, дѣйствуя имъ, приводятъ средину пузырька точно въ совмѣщеніе съ серединою трубки. Затѣмъ обчерчиваютъ карандашемъ низъ подставки уровня и, снявъ

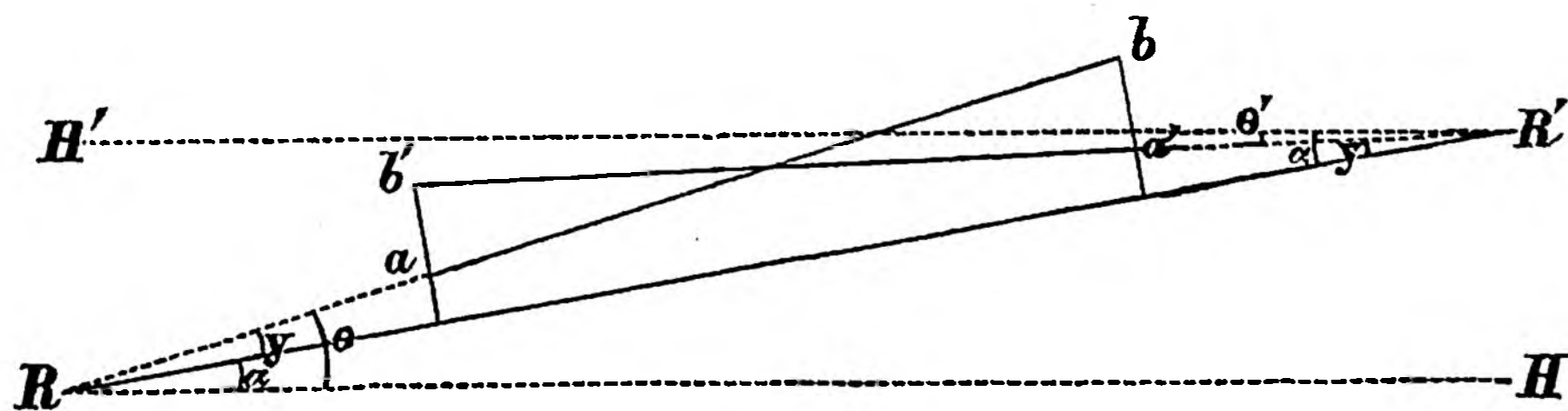
съ доски, ставятъ его опять на то же мѣсто, но только такъ, чтобы правый конецъ его пришелся бы на мѣсто, занятое прежде лѣвымъ концомъ, а лѣвый конецъ — на мѣсто праваго. Если послѣ этого середина пузырька будетъ опять совмѣщаться съ серединою трубки, то условіе, требуемое отъ уровня, выполняется; въ противномъ случаѣ дуга уклоненія середины пузырька отъ середины трубки измѣряетъ *двойной* уголъ, составляемый осью уровня съ плоскостью доски. Для уничтоженія погрѣшности вращаютъ исправительный винтъ  $v$  (черт. 66) до тѣхъ поръ, пока середина пузырька передвинется на середину дуги уклоненія. Послѣ чего, приведя подъемнымъ винтомъ пузырекъ уровня опять на середину, повторяютъ предыдущія дѣйствія, пока онъ будетъ совмѣщаться съ серединою трубки при двухъ противоположныхъ положеніяхъ уровня. Исправленіе уровня, въ случаѣ невыполненія условія, основано на слѣдующемъ: положимъ, что ось  $ab$  (черт. 75) не параллельна нижней плоскости  $HD$  подставки и составляетъ съ нею нѣкоторый уголъ  $\alpha$ ; дѣйствуя

Черт. 75.



подъемнымъ винтомъ плоскости, на которой стоитъ уровень, приведемъ пузырекъ на середину трубки; при чемъ ось  $ab$  займетъ горизонтальное положеніе; переставимъ уровень обратными концами, такъ что ось  $ab$  займетъ положеніе  $a'b'$ , составляющее съ  $HD$  тотъ же уголъ  $\alpha$ , а съ линіею горизонтальною — уголъ  $x = akb'$ , измѣряющійся дугою уровня, которая заключается между серединою пузырька и серединою трубки. Изъ чертежа видно, что этотъ уголъ  $= 2\alpha$ , т.-е. двойной погрѣшности; вслѣдствіе чего, положеніе оси  $a'b'$  надо измѣнить настолько, чтобы она заняла положеніе линіи  $mn$ , дѣлящей уголъ  $x$  пополамъ и параллельной плоскости  $HD$ ; другими словами — надо передвинуть исправительнымъ винтомъ середину пузырька на середину дуги уклоненія.

Черт. 76.



При производствѣ этой повѣрки требовалась доска съ подъемнымъ винтомъ; но то же самое условіе можетъ быть повѣрено и безъ всякихъ приспособленій, на плоскости обыкновеннаго стола. Въ самомъ дѣлѣ, если чрезъ  $y$  (черт. 76) обозначимъ погрѣшность въ относительномъ расположеніи оси уровня и плоскости  $RR'$  подставки, а чрезъ  $\alpha$  — уголъ

наклоненія плоскости стола, на которомъ стоитъ уровень, то уголъ наклоненія  $\Theta$  оси  $ab$  къ горизонту  $RH$  будетъ, какъ видно изъ чертежа,

$$\Theta = \alpha + y = \frac{1}{2} (a + b) \eta,$$

гдѣ  $a$  есть отсчетъ по лѣвому концу пузырька,  $b$  — отсчетъ по правому концу, а  $\eta$  — цѣна дѣленія уровня. Если теперь переложить уровень на томъ же мѣстѣ стола обратными концами, то ось его займетъ положеніе  $a'b'$  и уголъ наклоненія ея  $\Theta'$  къ горизонту  $R'H'$  будетъ:

$$\Theta' = \alpha - y = \frac{1}{2} (a' + b') \eta.$$

Изъ послѣднихъ двухъ равенствъ имѣемъ:

$$y = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{2} (a + b) - \frac{1}{2} (a' + b') \right\} \eta,$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{2} (a + b) + \frac{1}{2} (a' + b') \right\} \eta.$$

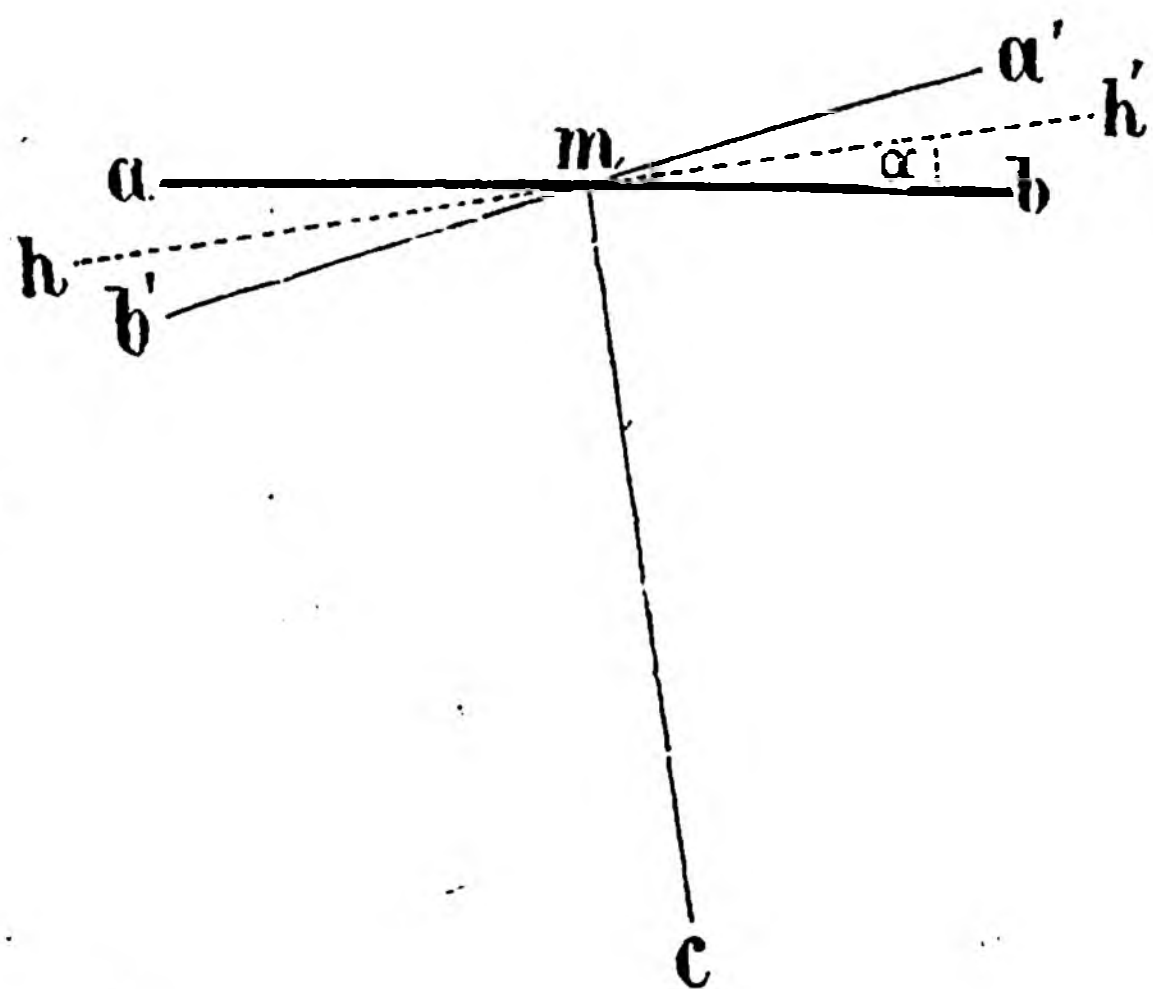
Откуда видимъ, *во-первыхъ*, что если уровень вѣренъ, то  $y$ , равное нулю, влечетъ за собою равенство выраженій  $\frac{1}{2} (a + b)$  и  $\frac{1}{2} (a' + b')$ , т.-е. середина пузырька должна занимать одно и то же мѣсто при обоихъ положеніяхъ уровня; если же  $y$  не равно нулю, то онъ выразитъ относительное расположеніе оси уровня и плоскости подставки. *Во-вторыхъ*, даже и невѣрнымъ уровнемъ можно опредѣлить уголъ наклоненія плоскости и линіи, для чего нужно только сдѣлать отсчеты по обоимъ концамъ пузырька при двухъ противоположныхъ положеніяхъ уровня.

б) Отъ цилиндрическаго уровня, закрѣпляемаго при горизонтальномъ или вертикальномъ кругѣ инструмента, требуется, чтобы ось его была перпендикулярна къ вертикальной оси вращенія инструмента. Для повѣрки этого условія, приводятъ подъемными винтами инструмента пузырекъ уровня на середину; при этомъ дѣйствуютъ или однимъ подъемнымъ винтомъ, если ось уровня расположена по его направленію, или же дѣйствуютъ двумя подъемными винтами, вращая ихъ въ стороны противоположныя, если алидада инструмента повернута такъ, что ось уровня стоитъ параллельно къ линіи, соединяющей два подъемныхъ винта. Затѣмъ, обращаютъ алидаду около ея вертикальной оси *точно* на  $180^\circ$  по отсчету, сдѣланному предварительно на горизонтальномъ кругѣ. Если послѣ этого середина пузырька будетъ опять совпадать съ серединою трубки, то условіе выполнено; въ противномъ случаѣ исправительнымъ винтомъ при уровнѣ передвигаютъ середину пузырька на половину дуги уклоненія и, приведя вновь (подъемнымъ винтомъ) пузырекъ уровня на середину трубки, повторяютъ повѣрку до тѣхъ поръ, пока середина пузырька будетъ совмѣщаться съ серединою трубки при двухъ противоположныхъ положеніяхъ алидады на лимбѣ. Причина — почему въ этомъ случаѣ исправленіе производится также на половину дуги уклоненія объясняется слѣдующимъ: пусть  $hh'$  (черт. 77) есть линія, перпендикулярная къ вертикальной оси вращенія  $mc$  алидады, а  $ab$  — ось уровня, приведенная въ горизонтальное положеніе и уклоняющаяся отъ  $hh'$  на уголъ  $\alpha$ , такъ что уголъ  $amc = 90^\circ + \alpha$ . По обращеніи алидады на  $180^\circ$  около линіи  $mc$ , ось уровня займетъ положеніе  $a'b'$ , уклоняющееся отъ  $hh'$  на

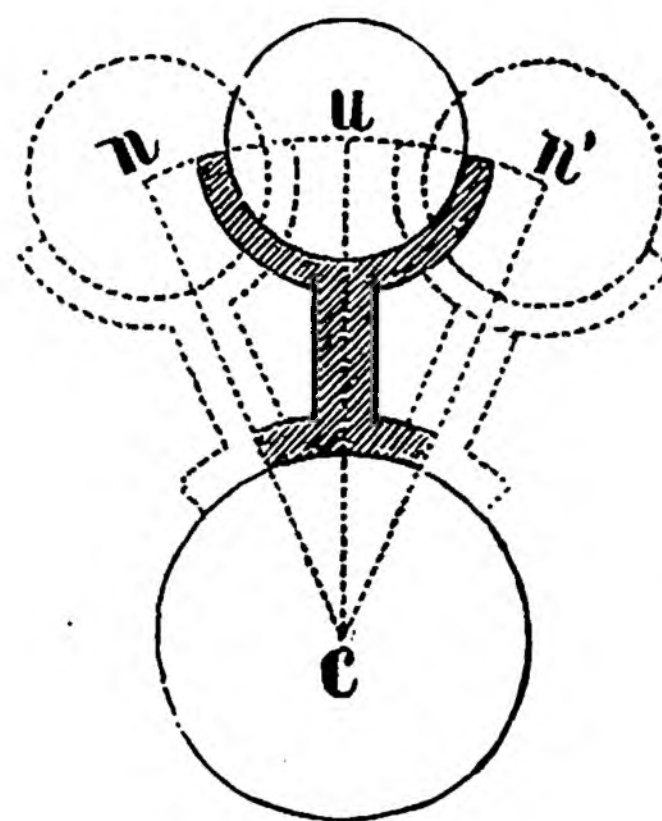
тотъ же уголъ  $\alpha$ , и уголъ  $b'tc = 90^\circ - \alpha$ . Разность  $atc - b'tc = atb' = x$ , измѣряющаяся дугою уровня между серединою пузырька и серединою трубки, есть двойная погрѣшность, ибо  $x = (90^\circ + \alpha) - (90^\circ - \alpha) = 2\alpha$ ; а потому середину пузырька нужно передвинуть на середину дуги уклоненія ея отъ середины трубки уровня.

с) Отъ цилиндрическаго уровня, ставящагося на горизонтальную ось вращенія трубы, требуется, чтобы ось уровня была параллельна этой оси вращенія. Повѣрка этого условія достигается перестановкою уровня на оси вращенія, подобно тому, какъ это дѣлается въ пунктѣ а), и половина уклоненія его отъ середины трубки уничтожается исправительнымъ винтомъ  $v$  (черт. 67b); при чемъ, если выступъ  $x$  будетъ опущенъ, то винты  $v_1$  и  $v_2$  нужно по окончаніи повѣрки вернуть настолько, чтобы концы ихъ снова упирались въ него; если же выступъ  $x$  понадобится поднять, то надо сначала вывернуть нѣсколько винты  $v_1$  и  $v_2$ , а затѣмъ уже дѣйствовать винтомъ  $v$ .

Черт. 77.

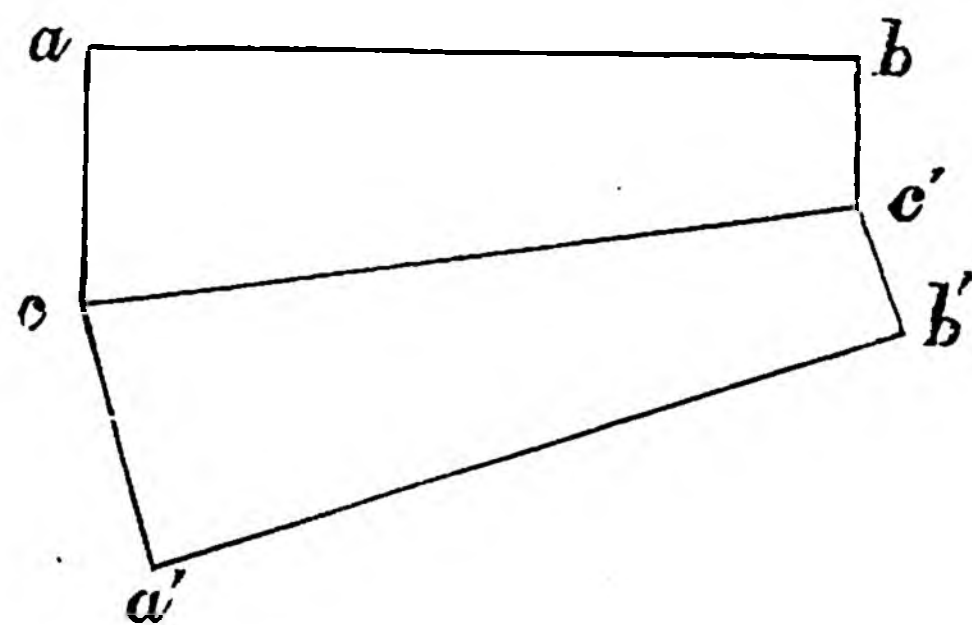


Черт. 78.



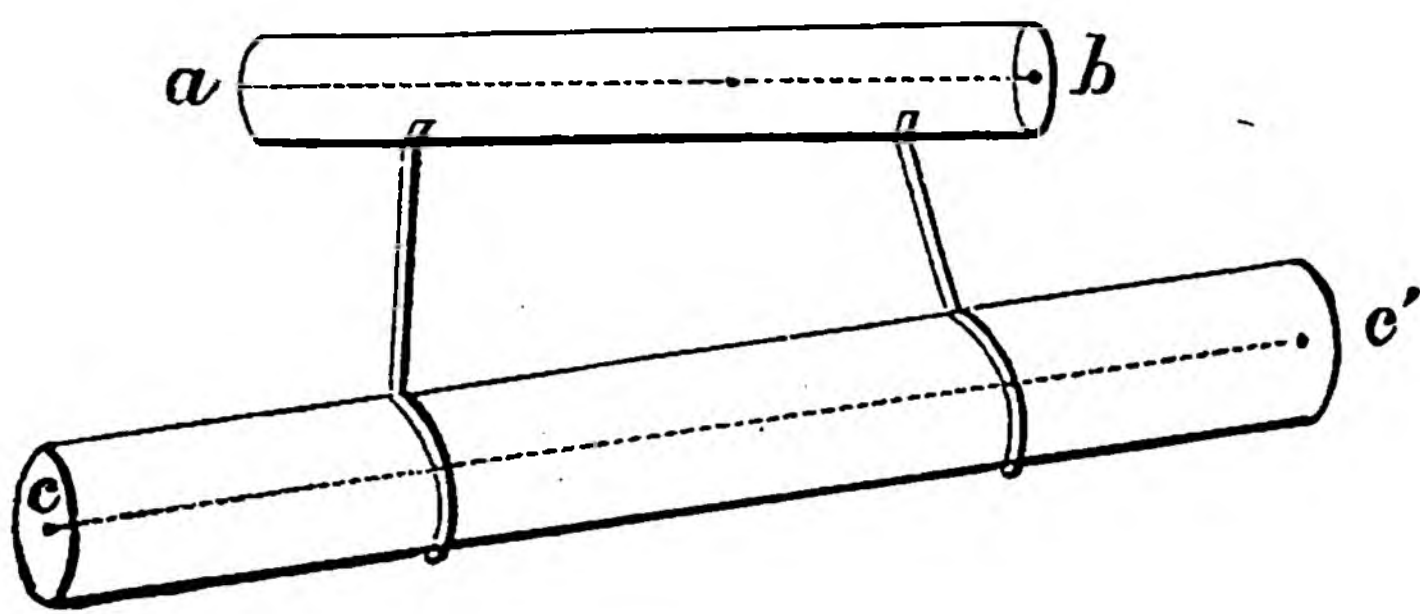
Однако прежде производства этой повѣрки, необходимо убѣдиться въ томъ, что ось уровня и образующая оси вращенія трубы лежатъ въ одной плоскости; а это достигается на основаніи слѣдующихъ соображеній: если ось вращенія  $c$  (черт. 78) трубы и ось  $u$  уровня лежатъ въ одной плоскости, и если ось  $u$  приведена въ горизонтальное положеніе, то, поворачивая уровень на цилиндрѣ около оси его  $c$  такъ, чтобы точка  $u$  описывала нѣкоторую дугу  $nn'$ , пузырекъ уровня будетъ или оставаться на серединѣ трубки, что будетъ въ случаѣ горизонтальности оси вращенія, или уклоняться отъ середины трубки въ сторону болѣе возвышеннаго конца оси  $c$ . Для разъясненія этого, обратимся къ черт. 79, на которомъ  $ab$  есть ось уровня, приведенная въ горизонтальное положеніе, а  $cc'$  — ось вращенія, хотя и лежащая въ одной плоскости съ  $ab$ , но вообще не параллельная съ этой послѣдней. Повернувъ фигуру  $abcc'$  около оси  $cc'$  настолько, чтобы каждая точка ея описала дугу въ  $180^\circ$ , данная фигура займетъ положеніе  $a'b'c's$  и точка  $b'$  будетъ выше точки  $a'$ ; слѣдовательно пузы-

Черт. 79.



рекъ уровня, стоявшій прежде на срединѣ трубки, отойдетъ отъ нея къ концу  $b'$ , то-есть въ сторону болѣе возвышеннаго конца  $c'$  оси вращения. Очевидно, что такое уклоненіе пузырька уровня отъ середины трубки будетъ имѣть мѣсто, хотя и въ меньшей степени, также и тогда, когда фигуру  $abc's$  повернемъ не на  $180^\circ$ , а на уголъ меньшій. Очевидно также, что пузырекъ будетъ отходить въ сторону  $c'$  независимо отъ того — повернемъ ли ось  $и$  (черт. 78) вправо на дугу  $ин'$  или влѣво на дугу  $ин$ ; другими словами, поворачивая уровень около оси вращения трубы въ ту или другую сторону, пузырекъ будетъ всегда, говоря вообще, отходить отъ середины трубки къ одному и тому же и именно болѣе возвышенному концу оси вращения. Иное явленіе будетъ въ томъ случаѣ, когда оси  $ab$  и  $cc'$  (черт. 79) не лежатъ въ одной плоскости, какъ на чертежѣ 80. Допустимъ, какъ и прежде, что ось  $ab$  при-

Черт. 80.



ведена въ горизонтальное положеніе, а ось  $cc'$  вообще не горизонтальна; тогда, поворачивая  $ab$  около  $cc'$  впередъ относительно плоскости чертежа, конецъ  $a$  повысится, а  $b$  понизится; при поворачиваніи же  $ab$  назадъ (относительно плоскости чертежа) конецъ  $a$  понизится, а  $b$  повысится; слѣдов., пузырекъ уровня

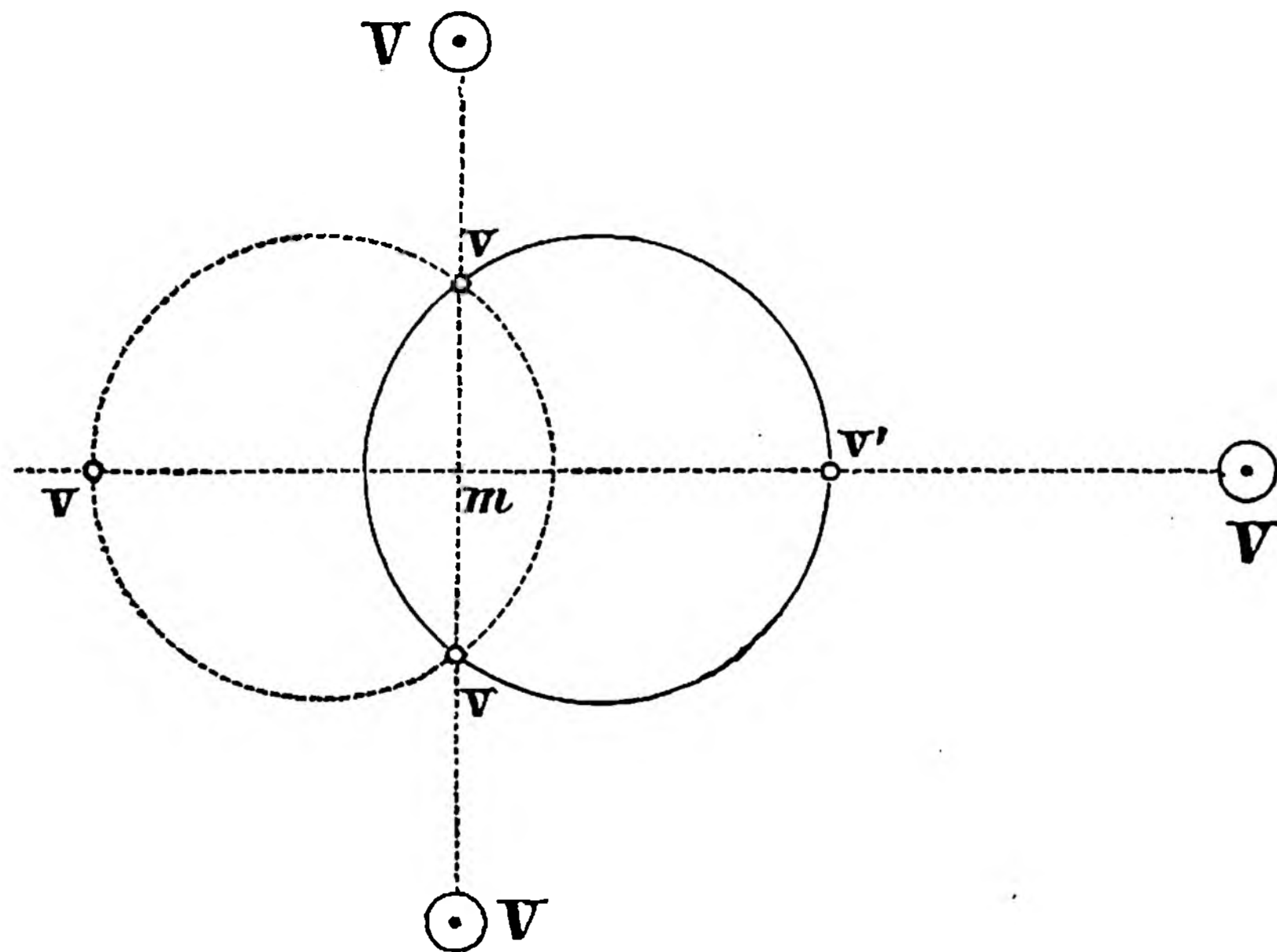
отходить то къ тому, то къ другому концу оси. Изъ этого разсмотрѣнія выводимъ слѣдующее: если при поворачиваніи уровня на оси вращения трубы въ ту или другую сторону, пузырекъ его, приведенный предварительно на средину, будетъ оставаться на срединѣ или отходить къ одному какому-нибудь концу, то ось уровня и ось вращения лежатъ въ одной плоскости; если же при такомъ же поворачиваніи уровня, пузырекъ его передвигается въ разныя стороны, то ось уровня и ось вращения не лежатъ въ одной плоскости. Въ послѣднемъ случаѣ, дѣйствуя исправительными винтами  $и$  и  $и_1$  (черт. 67а), поворачиваютъ ось уровня вправо или влѣво до тѣхъ поръ, пока пузырекъ будетъ отклоняться къ одному концу.

d) Отъ круглаго уровня, ставимаго на плоскость инструмента или закрѣпляемаго при горизонтальномъ лимбѣ, требуется, чтобы ось его была перпендикулярна къ плоскости, на которой онъ помещается. Если уровень переставляется на плоскости инструмента, то повѣрка производится такъ: прочерчиваютъ предварительно на плоскости двѣ линіи: одну  $vv$  (черт. 81) по направленію (приблизительно) срединѣ шляпокъ двухъ подъемныхъ винтовъ  $VV$ , и другую  $tv'$  къ ней перпендикулярную. Ставятъ уровень на плоскость такъ, чтобы два исправительные винта его размѣстились по линіи  $vv$ , а третій — по линіи  $tv'$ . Дѣйствуя всѣми тремя винтами  $V$  приводятъ пузырекъ на средину крышки; переставляютъ уровень на плоскости и даютъ ему положеніе, обозначенное на чертежѣ пунктиромъ. Если послѣ этого середина пузырька опять совмѣщается съ серединою стеклянной крышки, то условіе выполнено; при несоблю-

деніи его исправленіе производится на половину погрѣшности, при чемъ пузырекъ передвигается на половину дуги отклоненія. Если уровень не имѣетъ исправительныхъ винтовъ, то исправленіе производится механикомъ, который долженъ сточить нижнюю плоскость мѣднаго круга подставки такъ, чтобы условіе выполнялось.

Повѣрка эта можетъ быть произведена и на плоскости обыкновеннаго стола, лишь бы онъ не былъ слишкомъ покатъ. Ставятъ уровень на столъ, обчерчиваютъ карандашемъ нижній кругъ его подставки, замѣчаютъ положеніе и величину отклоненія середины пузырька отъ сре-

Черт. 81.



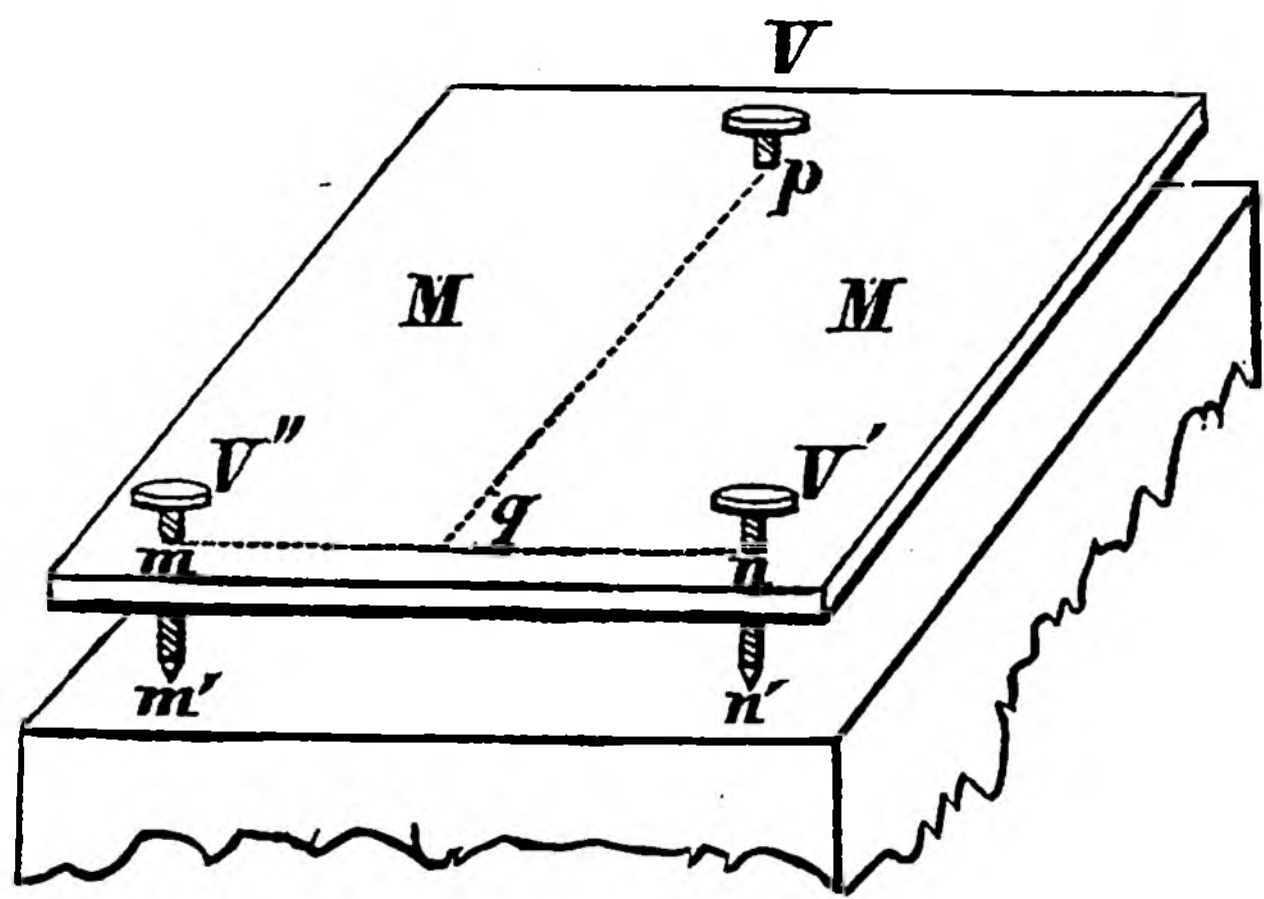
дины крышки и, поворачивая уровень внутри начерченнаго круга, наблюдаютъ за пузырькомъ, — если положеніе его не измѣнится, то уровень вѣренъ.

е) Если уровень имѣетъ дѣленія, то необходимо еще повѣрить *правильность шлифовки внутренней поверхности его*. Поставивъ уровень на испытатель, приводятъ винтомъ  $p$  (черт. 73) пузырекъ къ одному изъ концовъ. Затѣмъ поворачиваютъ винтъ  $p$  на одно и то же число дѣленій круга и записываютъ послѣ cadaго поворота показаніе концовъ пузырька; если при этомъ середина пузырька уровня будетъ передвигаться на равныя дуги, то условіе выполнено, — въ противномъ случаѣ уровень негоденъ къ опредѣленію угловъ наклоненія его оси.

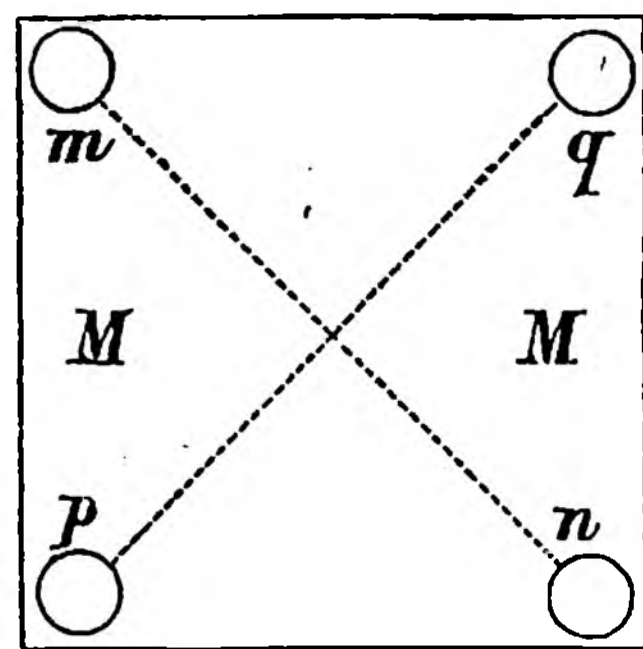
**§ 66.** Положеніе плоскости въ пространствѣ опредѣляется тремя точками, не лежащими на одной прямой, или двумя пересѣкающимися линиями. На этомъ основаніи, для приведенія плоскости въ горизонтальное положеніе, достаточно привести въ это положеніе двѣ линии, на ней лежащія; при чемъ для большей точности и быстроты дѣйствія берутся линии пересѣкающіяся между собою приблизительно подъ прямымъ угломъ. При объясненіи употребленія уровня съ цѣлью приведенія плоскостей въ горизонтальное положеніе, будемъ предполагать: а) подставка угломернаго инструмента имѣетъ три или четыре подъемные винта; б) подставка не имѣетъ ни одного подъемнаго винта, какъ напр. бакса, изображенная на черт. 11, и с) подставка не имѣетъ подъемныхъ винтовъ и не есть бакса.

а) Пусть плоскость  $MM$  (черт. 82), поддерживаемая тремя подъемными винтами  $V$ ,  $V'$  и  $V''$ , располагаемыми для большей устойчивости ее въ вершинахъ  $m$ ,  $n$  и  $p$  равносторонняго треугольника, должна быть приведена въ горизонтальное положеніе, и вообразимъ, что точки  $m$  и  $n$  соединены прямою, которая раздѣлена пополамъ точкою  $q$ , соединенною съ  $p$ . Поставимъ цилиндрическій уровень по направленію  $mn$  или по линіи съ ней параллельной и, вращая винты  $V'$  и  $V''$  въ противоположныя стороны (вывинчивая  $V'$  и завинчивая  $V''$  или наоборотъ), приведемъ средину пузырька на средину трубки; послѣ чего, если ось уровня параллельна нижней плоскости подставки, линія  $mn$  приметъ горизонтальное положеніе. Поставимъ теперь уровень по линіи  $pq$  и, вращая винтъ  $V$ , приведемъ пузырекъ его на средину; вмѣстѣ съ этимъ мы приведемъ и линію  $pq$  въ горизонтальное положеніе. Если бы при дѣйствіи винтомъ  $V$  плоскость  $MM$  вращалась около линіи  $mn$ , а не около  $m'n'$ , соединяющей концы подъемныхъ винтовъ, и если бы ось уровня, при обоихъ его постановкахъ на плоскости, точно совмѣщалась съ направленіями линій  $mn$  и  $pq$ , то съ приведеніемъ ихъ въ горизонтальное положеніе была бы горизонтальна и вся плоскость  $MM$ . Но такъ какъ

Черт. 82.



Черт. 83.



въ дѣйствительности это выполняется неточно, ибо  $mn$ , вообще говоря, не параллельна  $m'n'$  и ось уровня, при постановкахъ его на плоскости, совмѣщается съ направленіями линій  $mn$  и  $pq$  только приблизительно, то предыдущія дѣйствія повторяются снова до тѣхъ поръ, пока при двухъ перпендикулярныхъ между собою стояніяхъ уровня на плоскости средина пузырька его будетъ совмѣщаться съ серединою трубки.

Если имѣемъ два вывѣренныхъ цилиндрическихъ уровня, расположенныхъ на одной дощечкѣ такъ, что оси ихъ между собою приблизительно перпендикулярны, то приведеніе плоскости инструмента въ горизонтальное положеніе совершается проще, безъ перестановки на ней уровня. Въ самомъ дѣлѣ, если одинъ изъ уровней поставимъ по направленію  $mn$ , а другой, перпендикулярный съ первымъ, — по направленію  $pq$ , то, дѣйствуя поочередно винтами  $V'$  и  $V''$  и винтомъ  $V$ , легко привести пузырьки обоихъ уровней на средину.

Почти подобнымъ же образомъ поступаютъ и въ томъ случаѣ, когда имѣется круглый уровень, поставивъ который приблизительно на средину плоскости  $MM$  и, вращая одновременно винты  $V'$  и  $V''$ , передвигаютъ пузырекъ уровня сначала на линію  $pq$ ; а затѣмъ винтомъ  $V$

перемѣщаютъ средину пузырька по направленію  $pq$  до совпаденія съ центромъ кружка, начерченнаго на стеклянной крышкѣ, что и удостоверяетъ горизонтальность плоскости  $MM$ .

Если инструментъ имѣетъ не три подъемные винта, а четыре, то концы ихъ размѣщены въ вершинахъ квадрата, какъ показано на чертежѣ 83, и приведеніе плоскости въ горизонтальное положеніе отличается во всѣхъ случаяхъ, указанныхъ въ предыдущемъ, только тѣмъ, что вмѣсто *одного* вращаютъ *два* винта, лежащіе по направленію  $pq$ . Въ этомъ случаѣ цилиндрической уровень ставятъ по направленію перпендикулярныхъ между собою діагоналей  $mn$  и  $pq$ , а круглый уровень — надъ точкою ихъ пересѣченія. При четырехъ подъемныхъ винтахъ необходимо слѣдить за тѣмъ, чтобы концы ихъ прикасались къ плоскости, и отнюдь не допускать того, чтобы три изъ нихъ прикасались, а четвертый — нѣтъ.

б) Положимъ теперь, что подставка инструмента есть бакса безъ подъемныхъ винтовъ, напр. черт. 11. Приведеніе плоскости въ горизонтальное положеніе уровнемъ на ней *перестанавливающимся* производится въ этомъ случаѣ такъ: сообщивъ оси уровня произвольное направленіе, ослабляютъ винтъ  $n$  и, наклоненіемъ верхней части инструмента отъ руки по направленію оси уровня, приводятъ пузырекъ его на средину. Послѣ чего винтъ  $n$  закрѣпляется и уровень ставится по направленію приблизительно перпендикулярному съ первымъ. Послѣ чего, ослабивъ опять винтъ  $n$ , наклоняютъ плоскость инструмента по направленію оси уровня и приводятъ пузырекъ его на средину. Если бы это второе наклоненіе плоскости инструмента совершалось *точно* около линіи, параллельной оси уровня при первомъ его положеніи, то, по закрѣпленіи винта  $n$ , плоскость была бы приведена въ горизонтальное положеніе; но такъ какъ въ дѣйствительности это соблюдается только приблизительно, то дѣйствія повторяются до тѣхъ поръ, пока пузырекъ уровня будетъ находиться на срединѣ при двухъ положеніяхъ уровня, перпендикулярныхъ между собою. Приведеніе плоскости въ горизонтальное положеніе цилиндрическимъ уровнемъ, *прикрѣпленнымъ* къ алидадѣ инструмента или вообще къ верхней его части, отличается отъ предыдущаго тѣмъ, что перестановка уровня на плоскости инструмента замѣняется поворачиваніемъ алидады около ея вертикальной оси примерно на  $90^\circ$ . Если къ инструменту прикрѣплены *два* цилиндрические уровня, перпендикулярные между собою, или круглый уровень, то для приведенія въ горизонтальное положеніе ослабляютъ винтъ  $n$  баксы и наклоняютъ плоскость инструмента отъ руки въ ту или другую сторону до тѣхъ поръ, пока пузырьки уровней будутъ находиться на срединѣ.

с) Наконецъ, если подставка инструмента не имѣетъ подъемныхъ винтовъ и не есть бакса, верхняя часть которой можетъ быть наклоняема, то приведеніе плоскости въ горизонтальное положеніе производится посредствомъ раздвиганія или сближенія ножекъ того приспособленія, на которое насаживается подставка инструмента и которое, какъ увидимъ впоследствии, наз. *штативомъ*.



Что касается употребленія цилиндрическаго уровня съ цѣлью опредѣленія небольшихъ угловъ наклоенія линій, то достаточно сказать, что, поставивъ его на данную линію и сдѣлавъ отсчеты  $a$  и  $b$  по концамъ пузырька, уголъ наклоенія  $\alpha$ , въ случаѣ уровня вывѣреннаго, будетъ по § 62:

$$\alpha = \frac{1}{2}(a + b)\eta,$$

гдѣ  $\eta$  есть угловая величина одного дѣленія уровня. Если же уровень не вѣренъ, то, кромѣ отсчетовъ  $a$  и  $b$ , нужно еще сдѣлать отсчеты  $a'$  и  $b'$  при противоположномъ положеніи уровня, и уголъ наклоенія  $\alpha$  опредѣлится тогда, какъ показано въ § 65 по формулѣ:

$$\alpha = \frac{1}{2}\left\{\frac{1}{2}(a + b) + \frac{1}{2}(a' + b')\right\}\eta,$$

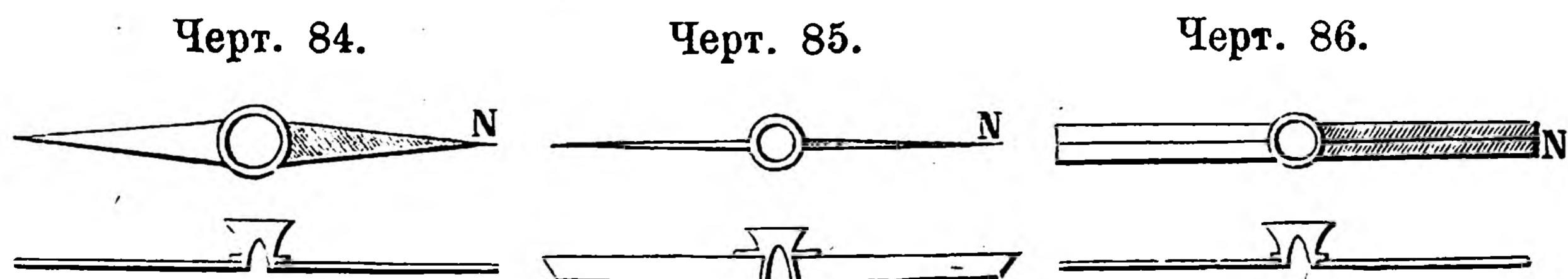
гдѣ  $\eta$  имѣетъ то же значеніе, что и прежде.

### Магнитная стрѣлка.

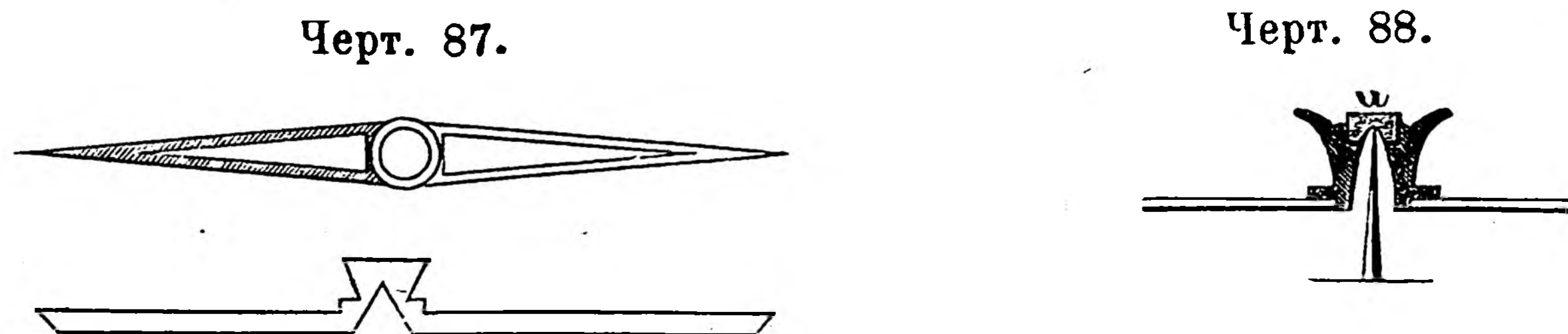
§ 67. Существенную принадлежность нѣкоторыхъ угломѣрныхъ инструментовъ составляетъ *магнитная стрѣлка*:

Извѣстно, что руда, имѣющая свойство притягивать желѣзо, никель, кобальтъ и другія тѣла, называется *естественнымъ магнитомъ*<sup>1)</sup>. Это свойство можно сообщить и куску стали, который послѣ этого становится *искусственнымъ магнитомъ*. Самое дѣйствіе, посредствомъ котораго стали сообщается магнитная сила, называется *намагничиваніемъ*.

*Магнитная стрѣлка* есть искусственный магнитъ, представляющій собою стальную полоску, которая вѣшается своею шляпкою на остріе. Она имѣетъ форму, изображенную на черт. 84, 85, 86, 87 въ планѣ и профилѣ;



при чемъ концами стрѣлки, въ случаѣ черт. 86, служатъ концы прямой линіи, на ней назначенной, а стрѣлка черт. 87 изображена въ нѣсколько большемъ, сравнительно съ остальными, видѣ. Въ серединѣ стрѣлка



имѣетъ шляпку, поперечный разрѣзъ которой представленъ на черт. 88; въ верхней части шляпки вставленъ твердый камень агатъ  $и$ , имѣющій

<sup>1)</sup> Слово *магнитъ* происходитъ отъ названія города *Магнези* (Малая Азія, неподалеку отъ теперешней Смирны), гдѣ впервые была найдена эта руда.

съ внутренней стороны углубленіе, которымъ стрѣлка и помѣщается на остріе. Магнитная стрѣлка имѣетъ двѣ замѣчательныя точки, обладающія наибольшимъ притяженіемъ; онѣ лежатъ вблизи концовъ ея и называются *полюсами*. Прямая линія, соединяющая полюсы стрѣлки, называется *магнитною осью*; ее нужно отличать отъ *оси геометрической*, которая есть линія, соединяющая концы стрѣлки и которая не всегда совмѣщается съ осью магнитною. *Магнитнымъ меридіаномъ* какой-нибудь точки земной поверхности называется сѣченіе этой поверхности съ отвѣсною плоскостью, проходящею чрезъ магнитную ось стрѣлки, свободно висящей на остріе шпилья. Магнитные меридіаны пересѣкаются на землѣ въ двухъ точкахъ — *магнитныхъ полюсахъ*, не совпадающихъ съ полюсами географическими. Сѣверный магнитный полюсъ лежитъ въ Гренландіи (подъ сѣвѣрною широтою около  $71^\circ$  и восточною долгоотою около  $269^\circ$  отъ Гринвича), а южный — къ югу отъ Новой Голландіи (подъ южн. шир. около  $74^\circ$  и вост. долг. около  $145^\circ$  отъ Гринвича). Конецъ стрѣлки, обращающійся къ сѣверному магнитному полюсу, принято называть *сѣвернымъ* и дѣлать обыкновенно изъ вороненой стали, а другой конецъ — называется *южнымъ*.

§ 68. Магнитный меридіанъ не совмѣщается, говоря вообще, съ географическимъ, а составляетъ съ нимъ нѣкоторый уголъ, называемый *склоненіемъ*<sup>1)</sup> стрѣлки, которое бываетъ восточное и западное; если сѣверный конецъ стрѣлки уклоняется отъ географическаго меридіана къ востоку, то склоненіе будетъ *восточное*, а если къ западу — *западное*. Склоненіе стрѣлки измѣняется съ перемѣною мѣста на земной поверхности, что видно изъ слѣдующей таблицы, содержащей склоненія на различныхъ точкахъ Россійской имперіи, приведенныя къ эпохѣ 1880 года<sup>2)</sup>. (См. стр. 108).

Относительно Москвы данныя выведены изъ наблюденій на магнитометеорологической обсерваторіи Константиновскаго Межеваго Института. Для 1890 года склоненіе стрѣлки въ Москвѣ восточное  $2^\circ 27'$ .

Измѣненіе склоненія стрѣлки замѣчается не только на различныхъ точкахъ земной поверхности, но и на одной и той же точкѣ ея. Эти измѣненія бываютъ: *вѣковыя*, *суточные* и *случайныя*. Вѣковое измѣненіе склоненія состоитъ въ томъ, что въ теченіе весьма большаго промежутка времени ось повѣшенной на остріе стрѣлки уклоняется сѣвернымъ концомъ сначала, на примѣръ, къ востоку отъ географическаго меридіана, это восточное склоненіе постепенно увеличивается, достигаетъ высшаго предѣла; послѣ чего уменьшается, дѣлается равнымъ нулю, переходитъ въ западное, достигаетъ предѣла, уменьшается и, наконецъ, снова переходитъ въ восточное. Періодъ вѣковаго измѣненія точно неизвѣстенъ,

<sup>1)</sup> Склоненіе стрѣлки было извѣстно еще до открытія Америки (въ 1492 г.) Христофоромъ Колумбомъ, которому приписываютъ обнаруженіе измѣняемости склоненія съ измѣненіемъ мѣста на земной поверхности.

<sup>2)</sup> Эта таблица заимствована изъ сочиненія А. Тилло: *Исслѣдованіе о географическомъ распредѣленіи и вѣковомъ измѣненіи склоненія и наклоненія магнитной стрѣлки на пространство Европейской Россіи*.

М Ъ С Т О.	Географическое положе- женіе.		Склоненіе, приведен- ное къ эпо- хѣ 1880 г.	Годовое измѣненіе склоненія	Примѣчаніе.
	Широта (сѣверная)	Долгота отъ Пулкова.			
Ченстоховъ.....	50°48'	11°15' зап.	+ 9,6	— 7,0	Мѣста наблюде- ній расположены по долготамъ, по на- правленію отъ за- пада къ востоку. Западное склоненіе сопровождено зна- комъ +, а восточ- ное знакомъ —.
Варшава.....	52°13'	9°17' »	+ 8,1	— 7,0	
Сѣдлецъ.....	52°10'	8° 7' »	+ 6,6	— 6,5	
Гродно.....	53°41'	6°29' »	+ 6,1	— 6,5	
Гельсингфорсъ.....	60°10'	5°22' »	+ 4,9	— 7,0	
Вильно.....	54°40'	5° 0' »	+ 4,6	— 6,5	
Минскъ.....	53°53'	2°48' »	+ 4,4	— 6,5	
Псковъ.....	57°50'	1°55' »	+ 2,8	— 6,5	
Кишиневъ.....	47° 2'	1°30' »	+ 3,9	— 6,5	
С.-Петербургъ.....	59°56'	0° 0' »	+ 1,5	— 6,5	
Кіевъ.....	50°25'	0°11' вост.	+ 2,7	— 6,5	
Одесса.....	46°29'	0°24' »	+ 5,3	— 6,5	
Новгородъ.....	58°31'	1° 0' »	+ 2,9	— 6,5	
Смоленскъ.....	54°47'	1°46' »	+ 2,6	— 6,5	
Симферополь.....	45° 1'	3°42' »	+ 2,2	— 6,5	
Курскъ.....	51°42'	5°54' »	+ 3,9	— 6,5	
Тверь.....	56°52'	5°38' »	— 0,1	— 6,5	
Харьковъ.....	50° 0'	5°52' »	— 1,7	— 6,5	
Калуга.....	54°31'	6°10' »	— 0,4	— 6,5	
Тула.....	54°12'	7°13' »	— 1,9	— 6,5	
Москва.....	55°46'	7°17' »	— 1,8	— 4,5	
Воронежъ.....	51°40'	9° 1' »	— 0,6	— 6,5	
Рязань.....	54°38'	9°24' »	— 2,4	— 6,5	
Вологда.....	59°14'	9°34' »	— 4,3	— 6,0	
Новочеркасскъ.....	47°25'	9°48' »	— 0,7	— 6,0	
Архангельскъ.....	64°34'	10°14' »	— 7,0	— 6,5	
Тамбовъ.....	52°42'	10°35' »	— 2,5	— 6,0	
Нижній-Новгородъ.....	56°19'	13°38' »	— 5,7	— 6,0	
Тифлисъ.....	41°43'	14°31' »	— 0,9	— 5,0	
Пенза.....	53°11'	14°40' »	— 5,1	— 6,0	
Саратовъ.....	51°32'	15°45' »	— 4,3	— 6,0	
Астрахань.....	46°21'	17°46' »	— 3,7	— 5,5	
Симбирскъ.....	50°19'	18° 6' »	— 5,6	— 5,5	
Казань.....	55°48'	18°48' »	— 7,0	— 6,0	
Вятка.....	58°36'	19°20' »	— 8,0	— 6,0	
Самара.....	55°10'	19°46' »	— 7,8	— 5,5	
Уфа.....	54°43'	25°37' »	— 8,7	— 5,0	
Пермь.....	58° 0'	25°55' »	—10,5	— 5,0	
Оренбургъ.....	51°46'	26°46' »	— 7,5	— 5,5	
Тургай.....	49°38'	33°10' »	— 8,7	— 5,0	
Березовъ.....	63°56'	34°45' »	—14,8	— 3,5	
Обдорскъ.....	66°31'	36°23' »	—17,9	— 4,0	
Тобольскъ.....	58°12'	37°57' »	—12,5	— 3,0	

но, во всякомъ случаѣ, онъ превышаетъ 300 лѣтъ, какъ это видно изъ слѣдующихъ опредѣленій склоненія въ Парижѣ, произведенныхъ въ промежутокъ времени отъ 1580 до 1875,, года:

Годъ.	Склоненіе.
1580	— 11°30'
1618	— 8° 0'
1663	0° 0'
1678	+ 1°30'
1700	+ 8°10'
1767	+ 19° 6'
1780	+ 19°55'
1785	+ 22° 0'
1805	+ 22° 5'
1814	+ 22°34'
1825	+ 22°17'
1858	+ 19°36'
1875 <sub>,5</sub>	+ 17°21'

Измѣненіе склоненія въ теченіе года, показанное въ послѣдней графѣ таблицы, стр. 108, хотя не строго постоянно и подвержено возмущеніямъ, тѣмъ не менѣе можетъ быть принято, въ тѣсныхъ предѣлахъ, пропорціональнымъ времени.

*Суточное* измѣненіе склоненія стрѣлки состоитъ въ томъ, что съ утра до двухъ часовъ пополудни сѣверный конецъ ея движется къ западу, а съ 2 часовъ — къ востоку; при чемъ наибольшее суточное уклоненіе стрѣлки имѣетъ мѣсто около 2 часовъ пополудни, а наибольшее уклоненіе къ востоку — около 8 часовъ пополуночи; средняя же величина склоненія замѣчается въ 10—11 часовъ пополуночи и въ 9—10 часовъ пополудни. вмѣстѣ съ тѣмъ обнаружено, что лѣтнія суточные измѣненія значительнѣе зимнихъ. Что касается величины суточного измѣненія склоненія, то можно сказать, что она не превышаетъ 20 минутъ, а въ большинствѣ случаевъ — 15'; въ отдѣльности же, нѣсколько разъ въ году она бываетъ болѣе 1 градуса. Въ противоположность днямъ съ большими суточными измѣненіями, бываютъ также дни, особенно въ зимніе мѣсяцы, когда стрѣлка почти не измѣняетъ своего положенія.

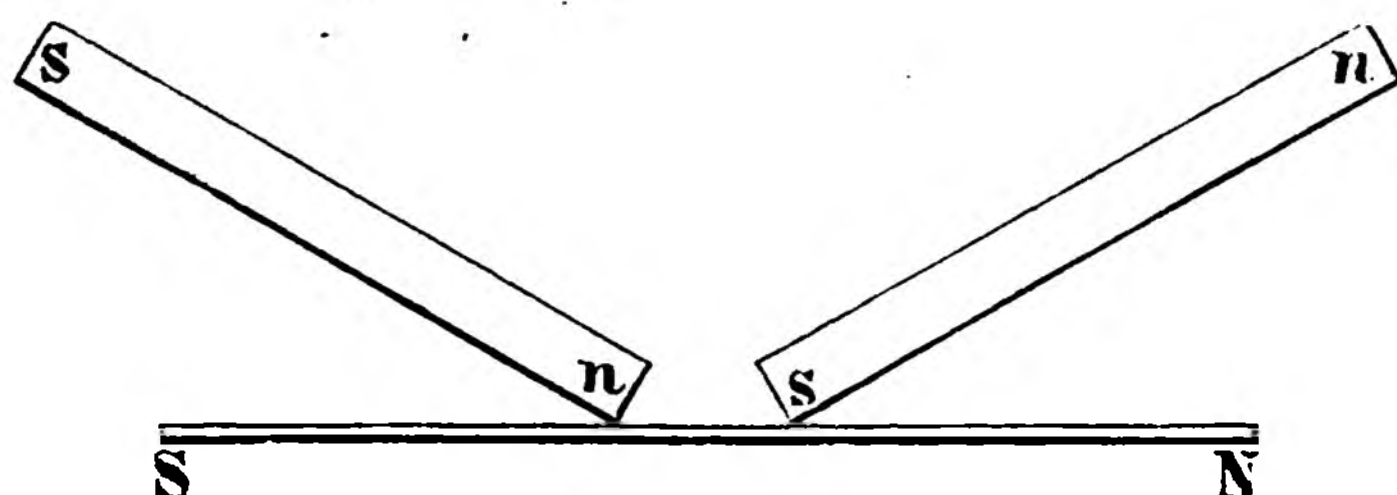
Кромѣ этихъ, болѣе или менѣе правильныхъ измѣненій, склоненіе стрѣлки подвержено еще измѣненіямъ *случайнымъ* (возмущеніямъ), которыя обусловливаются различными космическими и мѣстными причинами, каковы: сѣверное сіяніе, землетрясеніе, вулканическое изверженіе, направленіе и сила вѣтра, желѣзная руда, нѣкоторыя болота, сосновый лѣсъ и т. под. Величины случайныхъ измѣненій склоненія различны и зависятъ отъ степени дѣйствія той или другой причины; онѣ доходятъ до 1 и даже 2 градусовъ.

Если стрѣлка до своего намагничиванія, будучи надѣта на шпиль, находилась въ равновѣсіи, то послѣ намагничиванія сѣверный конецъ ея опустится въ сѣверномъ полушаріи земли книзу, вслѣдствіе большей близости къ нему сѣвернаго магнитнаго полюса. Уголъ между магнитною осью стрѣлки и горизонтальною линіею, лежащею въ плоскости магнитнаго меридіана, называется *наклоненіемъ стрѣлки*. Для

приведенія оси стрѣлки снова въ горизонтальное положеніе, налѣпляютъ на поднятый конецъ ея кусочекъ воска или сургуча. Наклоненіе стрѣлки подвержено тѣмъ же измѣненіямъ (вѣковымъ, суточнымъ и случайнымъ), какъ и склоненіе; но на разсмотрѣніи ихъ останавливаться не будемъ, такъ какъ они не имѣютъ никакого значенія при геодезическихъ операціяхъ<sup>1)</sup>.

§ 69. Намагничиваніе стрѣлокъ производится двумя способами: 1-й способъ, называемый *простымъ натираніемъ*, состоитъ въ томъ, что, имѣя искусственный магнитъ въ видѣ прямой полосы, кладутъ стрѣлку горизонтально и, поставивъ на одинъ изъ концовъ ея перпендикулярно къ стрѣлкѣ магнитъ, проводятъ имъ нѣсколько разъ по всей длинѣ стрѣлки отъ одного конца до другаго. На томъ концѣ стрѣлки, гдѣ окончилось натираніе, обнаружится полюсъ разноименный съ полюсомъ магнита, прилегавшимъ къ стрѣлкѣ. Если же магнитъ имѣетъ форму подковы, то, взявъ его за средину въ одну руку и повернувъ полюсами кверху, натираютъ стрѣлку другою рукою объ одинъ изъ концовъ магнита, начиная отъ середины стрѣлки; затѣмъ дѣлаютъ такое же натираніе другаго конца стрѣлки объ другой конецъ магнита.

Черт. 89.



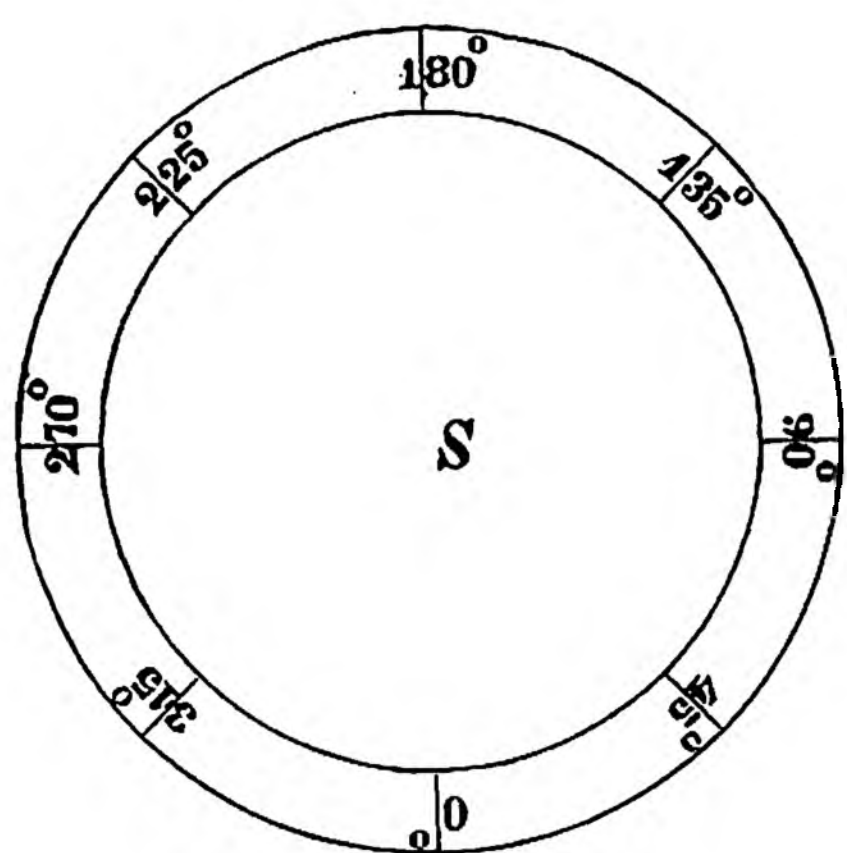
При 2-мъ способѣ болѣе сильнаго намагничиванія, извѣстномъ подъ названіемъ *раздѣльнаго натиранія* и предложенномъ *Дюгамелемъ*, кладутъ стрѣлку горизонтально и, поставивъ на средину ея подъ угломъ къ ней около 30° двѣ искусственныя магнитныя полосы разноименными полюсами, проводятъ ими одновременно отъ середины стрѣлки къ концамъ ея; послѣ чего снимаютъ магниты со стрѣлки, ставятъ опять ихъ на средину ея и снова проводятъ къ концамъ и т. д. Повторивъ это нѣсколько разъ, поворачиваютъ стрѣлку нижней стороною вверхъ и повторяютъ то же самое дѣйствіе. Этотъ способъ намагничиванія изображенъ на черт. 89.

§ 70. Магнитная стрѣлка, повѣшенная на остріе шпилья, занимаетъ, какъ мы видѣли, одно и то же положеніе относительно странъ свѣта, если не принимать во вниманіе колебаній ея (вѣковыхъ, суточныхъ и случайныхъ). Пользуясь этимъ свойствомъ стрѣлки, она употребляется въ геодезическихъ инструментахъ для опредѣленія угла, составляемаго направленіемъ магнитной ея оси съ направленіемъ на какой-нибудь предметъ. Для возможности же опредѣленія этого угла, шпиль на

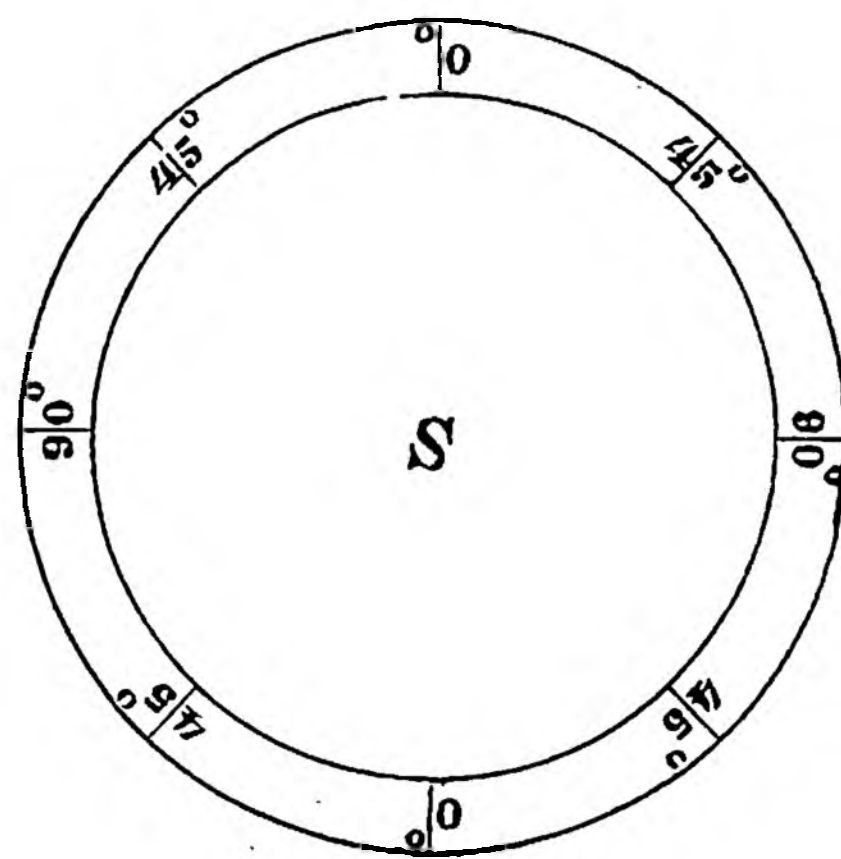
<sup>1)</sup> Открытіе наклоненія стрѣлки принадлежитъ *Гартману* и сдѣлано въ 1544 году. Независимо отъ этого то же явленіе обнаружено было англичаниномъ *Робертомъ Норманъ* въ 1576 году.

который вѣшается стрѣлка, укрѣпляется обыкновенно въ угловѣрныхъ инструментахъ въ центрѣ *градуснаго кольца*. Дѣленія на такомъ кольцѣ назначаются двойко: или отъ  $0^\circ$  до  $360^\circ$  справа налѣво, смотря изъ центра кольца (черт. 90), или же по направленію одного изъ діаметровъ кольца ставятся нули градусовъ, а каждая изъ полуокружностей дѣлится въ обѣ стороны отъ нулей на  $90$  градусовъ (черт. 91). Кольцо чертежа 90 служитъ для непосредственнаго измѣренія *истинныхъ* или

Черт. 90.



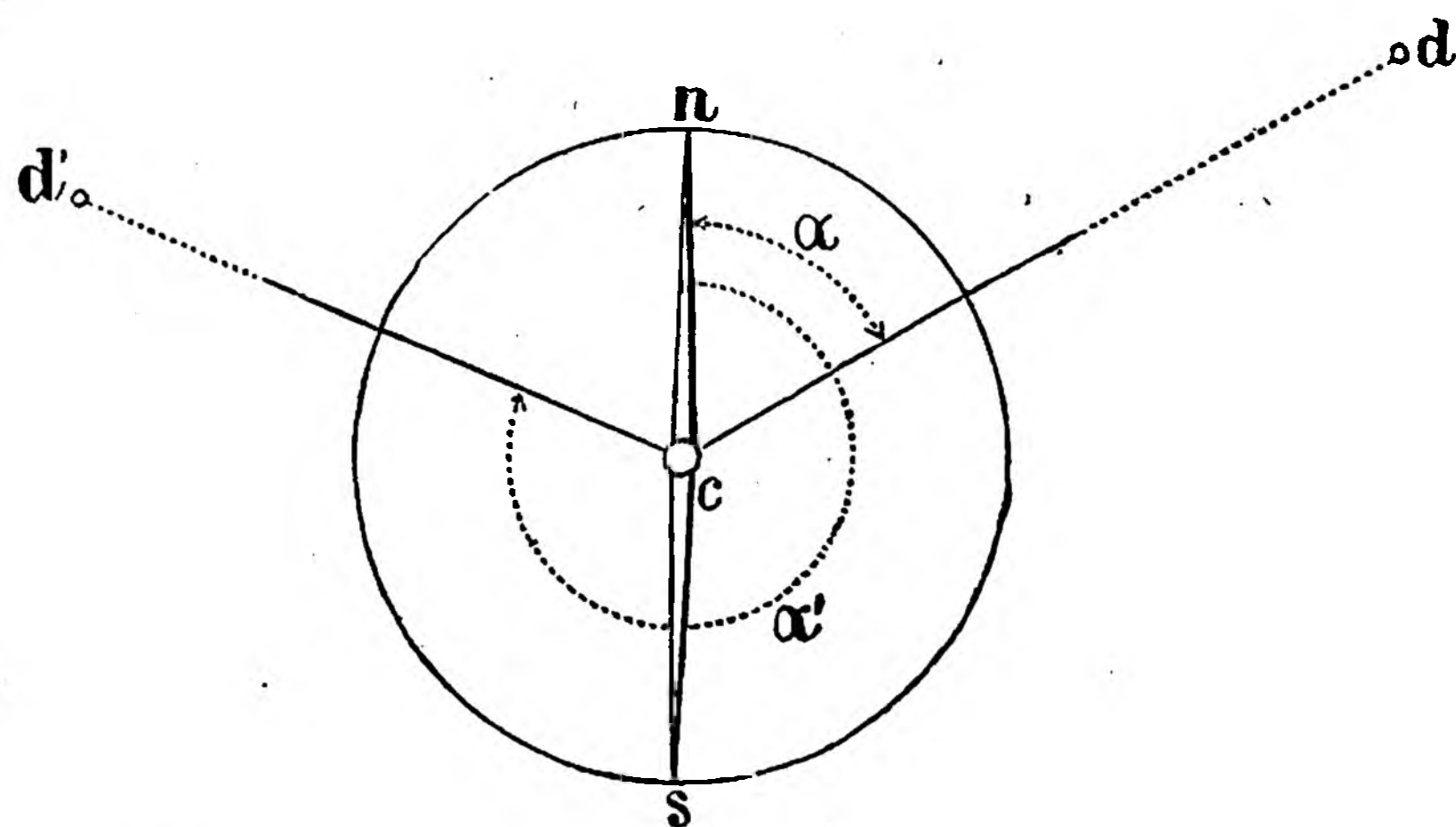
Черт. 91.



*магнитныхъ азимутовъ*<sup>1)</sup>, а кольцо чертежа 91 — для непосредственнаго измѣренія *истинныхъ* или *магнитныхъ румбовъ*<sup>2)</sup>; вслѣдствіе этого первое кольцо наз. *азимутальнымъ*, а второе — *румбическимъ*.

§ 71. *Магнитнымъ азимутомъ* точки какого нибудь предмета называется уголъ между магнитною осью стрѣлки и горизонтальною проекціею направленія на эту точку; онъ считается отъ сѣвернаго конца стрѣлки вправо (черезъ востокъ, югъ и западъ) отъ  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . *Истиннымъ азимутомъ* точки предмета наз. уголъ между географическимъ

Черт. 92.



меридіаномъ и горизонтальною проекціею направленія на точку; онъ считается отъ сѣверной части меридіана вправо отъ  $0^\circ$  до  $360^\circ$ . Если *ns* (черт. 92) есть магнитная стрѣлка, при чемъ *n* сѣверный ея конецъ, а *s* — южный, то магнитный азимуть горизонтальной проекціи направ-

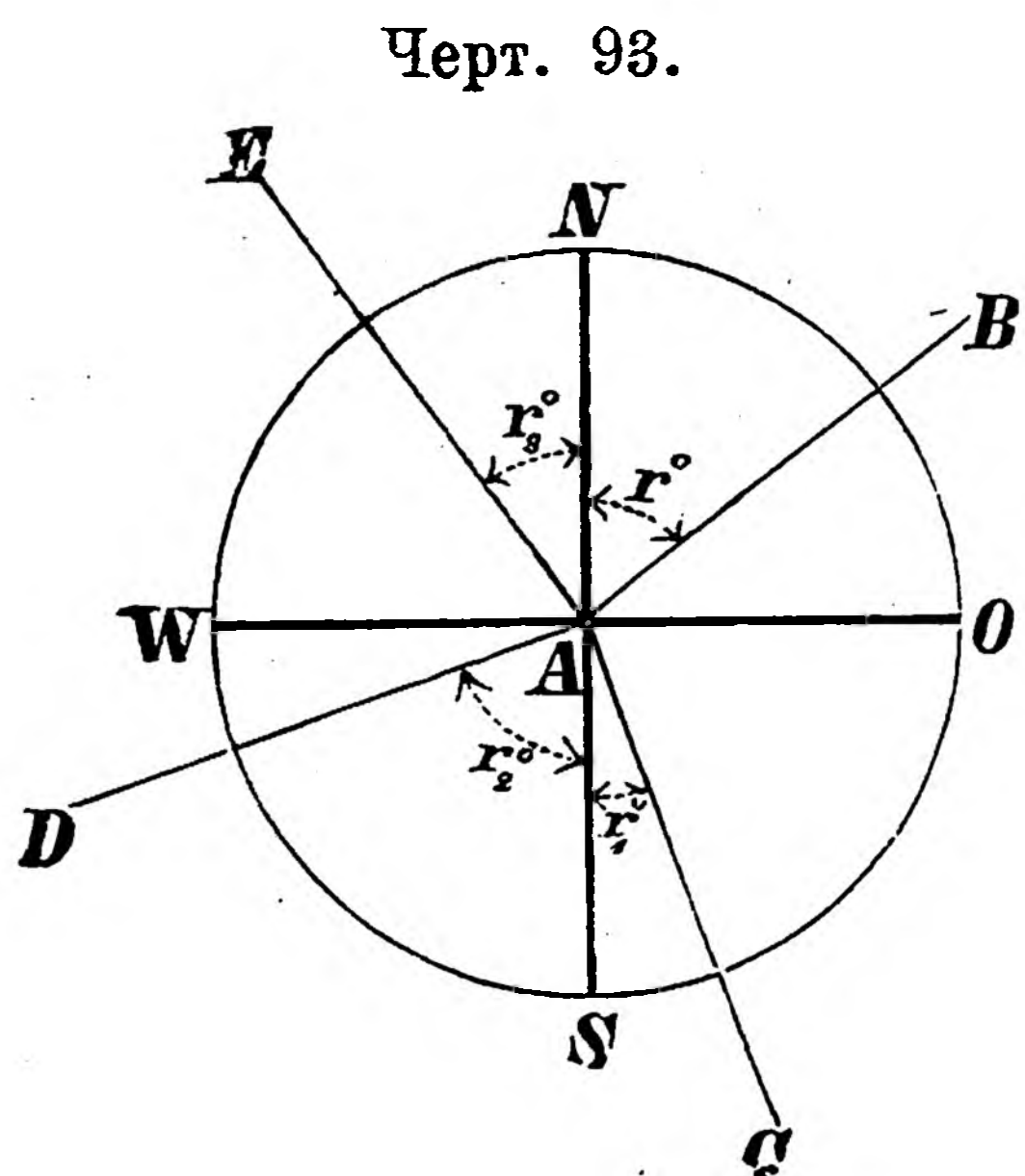
1) *Азимуть* отъ арабск. слова *as-sumūt* — дороги, тропинки; *as-samt* — дорога. См. кромѣ того значеніе слова *зенитъ* въ выносѣхъ на стр. 45.

2) *Румбъ* (по англ. *rumb*, по фр. *rumbe*, по исп. *rumbo*, по ит. *rombo*) отъ греч. слова *rhombos* — кругъ, колесо.

ленія на точку  $d$  есть  $ncd = \alpha$ , а магнитный азимутъ для направленія  $cd'$  есть  $ncd' = \alpha'$ . Если бы линія  $ns$  была географическимъ меридіаномъ, то предыдущіе углы  $\alpha$  и  $\alpha'$  выражали бы *истинные* азимуты.

Здѣсь кстати надо замѣтить, что иногда употребляется весьма удобное обозначеніе азимута направленія посредствомъ названія этого направленія, заключеннаго въ круглыя скобки; при чемъ впередъ ставятъ названіе той точки направленія, при которой этотъ азимутъ считается. Такъ, азимутъ  $\alpha$  направленія  $cd$  обозначается чрезъ  $(cd)$ , азимутъ  $\alpha'$  — чрезъ  $(cd')$  и вообще  $(MN)$  есть азимутъ направленія въ точкѣ  $M$ , а  $(NM)$  есть азимутъ той же линіи въ точкѣ  $N$ .

*Магнитный и истинный румбы* суть углы между тѣми же линіями, что и магнитный и истинный азимуты, но считающіеся иначе, а именно: магнитный румбъ считается или отъ сѣвернаго, или отъ южнаго концовъ стрѣлки въ обѣ стороны до горизонтальной проекціи направленія на точку предмета отъ  $0^\circ$  до  $90^\circ$ , а истинный румбъ считается или отъ сѣверной, или отъ южной части географическаго меридіана до горизонтальной проекціи того же направленія въ обѣ стороны отъ  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . Понятно, что при такомъ способѣ отсчитыванія угловъ нужно указывать вмѣстѣ съ тѣмъ для каждаго даннаго направленія и положеніе его относительно странъ свѣта; вслѣдствіе этого градусная величина магнитнаго и истиннаго румбовъ сопровождается названіемъ той четверти



горизонта, въ которой лежитъ данное направленіе. Четверти эти называются:  $NO$  (нордъ-ость),  $SO$  (зюдъ-ость),  $SW$  (зюдъ-вестъ) и  $NW$  (нордъ-вестъ). Если  $NS$  (черт. 93) выражаетъ географическій меридіанъ, при чемъ  $N$  есть точка сѣвера, а  $S$  — точка юга; затѣмъ, если  $WO$  есть линія перпендикулярная къ  $NS$  и соединяющая точки запада и востока, то истинный румбъ горизонтальной проекціи направленія  $AB$ , какъ лежащаго въ четверти нордъ-ость, есть  $NO : r^\circ$ ; истинный румбъ для  $AC$  есть  $SO : r_1^\circ$ ; истинный румбъ для  $AD$  есть  $SW : r_2^\circ$  и, наконецъ, истинный румбъ для  $AE$  есть  $NW : r_3^\circ$ . Если же линія  $NS$  представляетъ магнитную ось стрѣлки, то румбы:  $NO : r^\circ$ ,  $SO : r_1^\circ$ ,  $SW : r_2^\circ$  и  $NW : r_3^\circ$  суть магнитные, а не истинные.

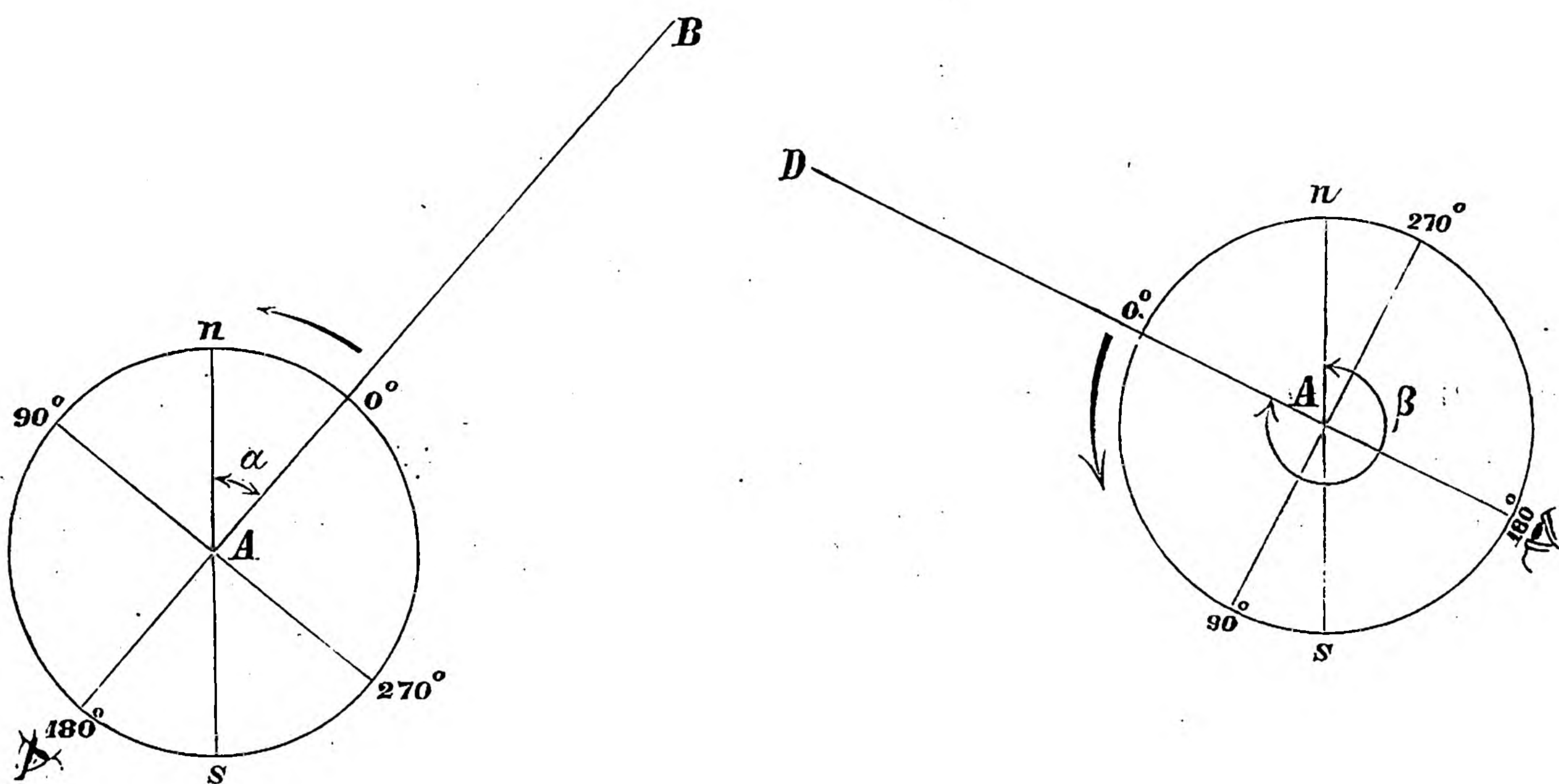
§ 72. Покажемъ теперь какъ опредѣляется градусная величина магнитныхъ азимутовъ и румбовъ посредствомъ градуснаго кольца, въ центрѣ котораго помѣщена магнитная стрѣлка. При этомъ будемъ сначала предполагать, что магнитная ось стрѣлки совмѣщается съ геометрическою ея осью.

Чтобы инструментомъ, имѣющимъ магнитную стрѣлку, повѣшенную на острие въ центрѣ градуснаго кольца, опредѣлить магнитный азимутъ, становятъ его горизонтально въ точку  $A$  (черт. 94), приводятъ діаметръ кольца, проходящій чрезъ  $0^\circ$  и  $180^\circ$ , въ совмѣщенія съ вертикальною

плоскостью данного направления  $AB$ ; послѣ чего, если при глазѣ будетъ стоять  $180^\circ$ , то такъ какъ дѣленія на кольцѣ располагаются отъ  $0^\circ$  влѣво, отсчетъ по сѣверному концу  $n$  стрѣлки выразитъ число градусовъ  $\alpha$ , заключающееся въ магнитномъ азимутѣ направления  $AB$ . Подобнымъ же образомъ найдемъ, что отсчетъ  $\beta$  по сѣверному концу стрѣлки выражаетъ азимутъ направления  $AD$  (черт. 95). Для чертежей 94 и 95 предполагалось, что глазъ находится при штрихѣ  $180^\circ$  кольца, но нетрудно видѣть, что если глазъ будетъ находиться при  $0^\circ$ , то, при томъ же направленіи дѣленій кольца (справа налѣво), отсчетъ по сѣверному концу на черт. 94 будетъ  $\alpha + 180^\circ$ , а по черт. 95 будетъ  $\beta + 180^\circ$ . Отсчеты эти превышаютъ азимуты направлений  $AC$  и  $AD$  на  $180^\circ$ , а потому, чтобы они выражали величины азимута, дѣлаютъ

Черт. 94.

Черт. 95.



ихъ въ этомъ случаѣ (когда глазъ стоитъ при  $0^\circ$ ) не по сѣверному концу стрѣлки, а по южному. Справедливость этого видна изъ чертежей. На основаніи сказаннаго выводимъ слѣдующее правило для измѣренія магнитныхъ азимутовъ: *поставивъ діаметръ  $0^\circ$  и  $180^\circ$  кольца въ отвѣсной плоскости того направленія, азимутъ котораго желаютъ опредѣлить, дѣлаютъ по сѣверному концу стрѣлки, если при глазѣ стоитъ  $180^\circ$ , отсчетъ числа градусовъ и долей ихъ, а если при глазѣ стоитъ  $0^\circ$ , то дѣлаютъ отсчетъ по южному концу. Эти отсчеты и выразятъ азимуты данныхъ направленій.*

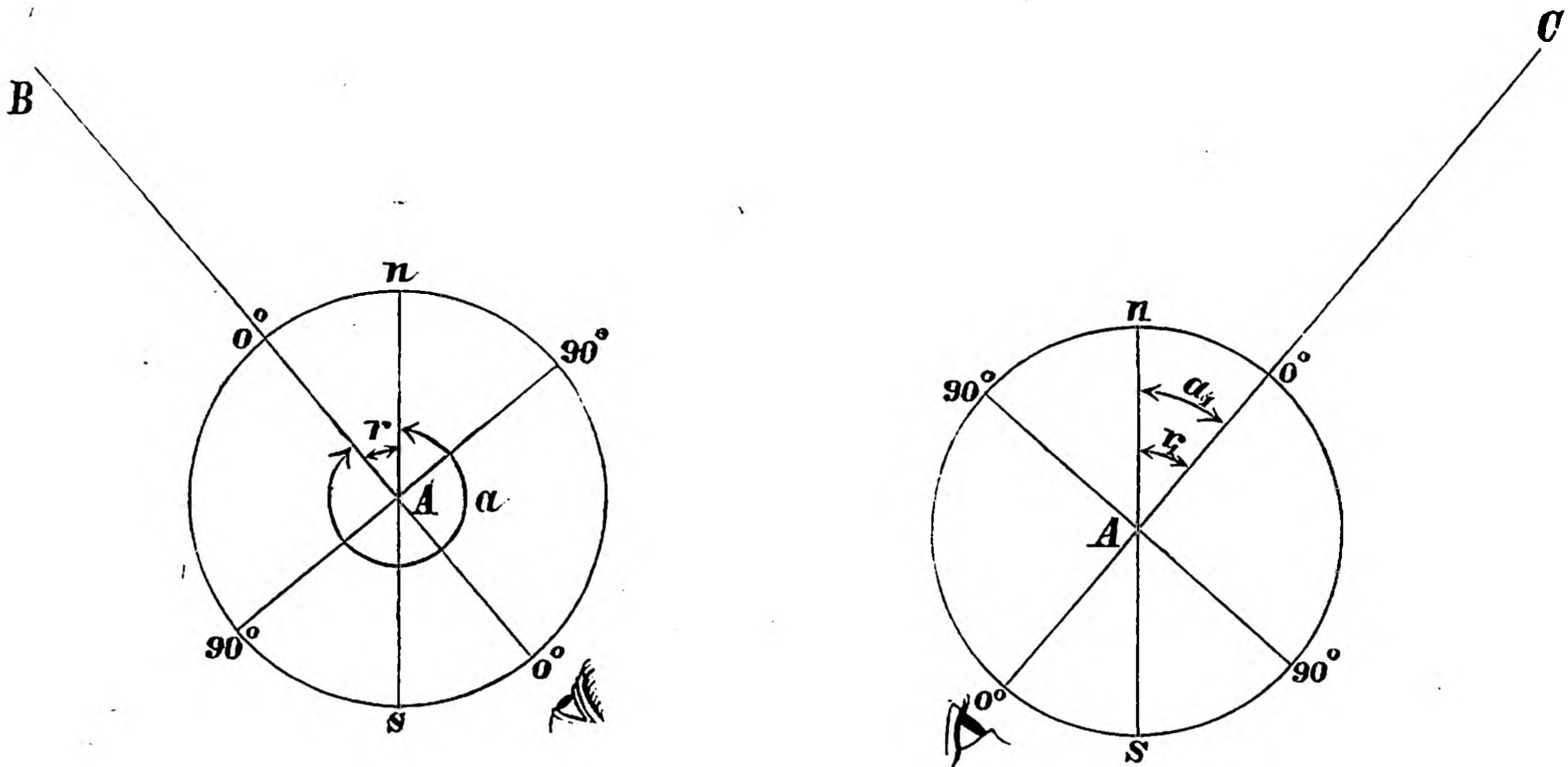
Хотя въ большинствѣ случаевъ подпись дѣленій на азимутальномъ кольцѣ располагается такъ, какъ предположено въ предыдущемъ, т.-е. справа налѣво, однако встрѣчаются и такіе инструменты, на которыхъ она назначена слѣва направо. Въ этомъ случаѣ отсчетъ по сѣверному концу будетъ уже не азимутъ, а дополненіе его до  $360^\circ$ , что можно видѣть изъ тѣхъ же чертежей 94 и 95. Для избѣжанія недоразумѣній, въ журналъ измѣренія угловъ, который ведется при каждой геодезической съемкѣ, записываютъ направленіе дѣленій на азимутальномъ кольцѣ.



Если діаметръ, соединяющій нули градусовъ *румбическаго* кольца, будетъ стоять въ отвѣсной плоскости даннаго направленія, то изъ чертежей 96, 97, 98, 99, принимая во вниманіе условіе для отсчета румбовъ, видно, что магнитный румбъ направленія  $AB$  есть  $NW:r^0$ , магнитный румбъ направленія  $AC$  есть  $NO:r_1^0$ , для направленія  $AD$  магнитный румбъ есть  $SO:r_2^0$  и, наконецъ, направленіе  $AE$  имѣеть

Черт. 96.

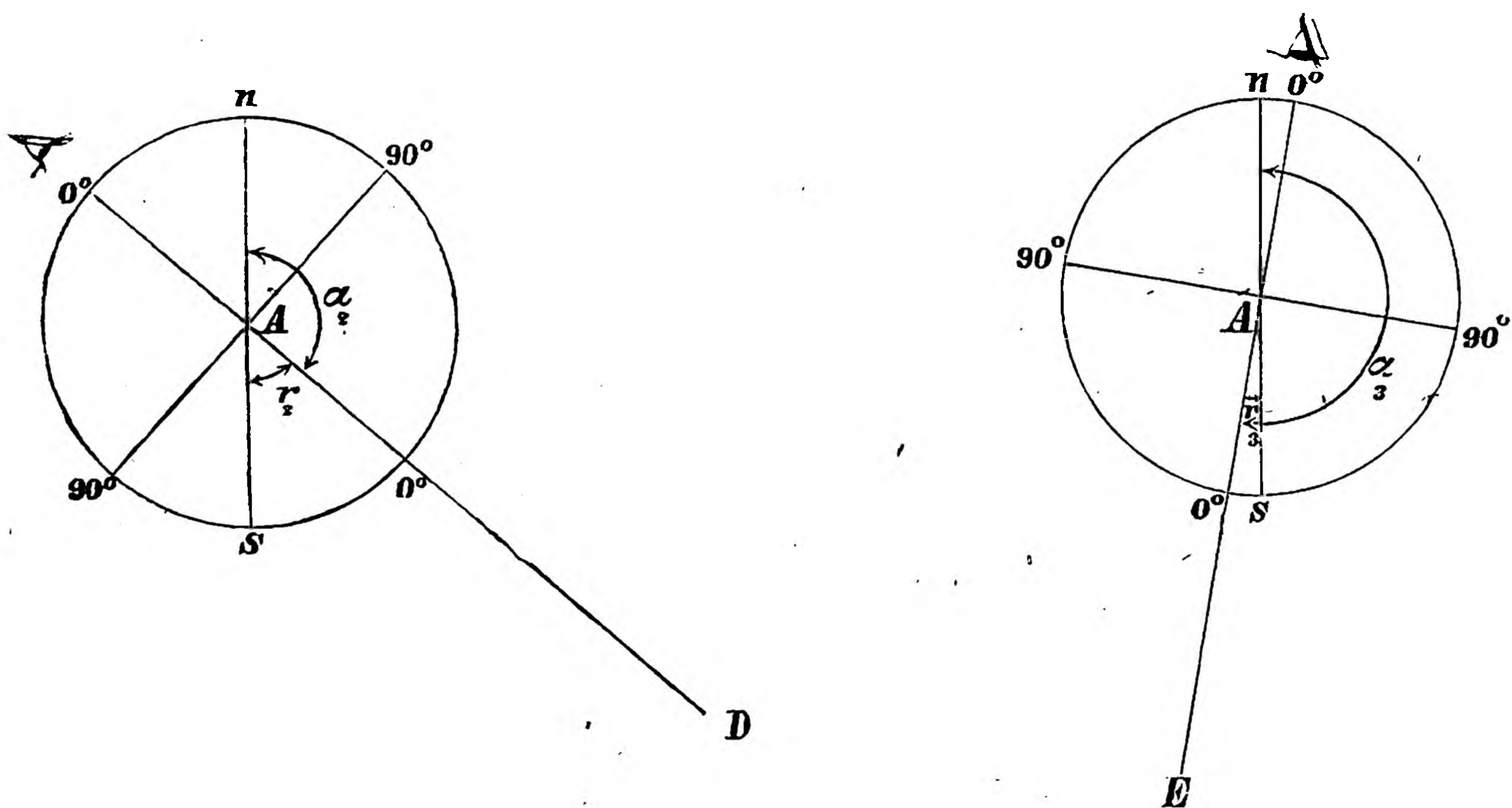
Черт. 97.



магнитный румбъ  $SW:r_3^0$ . Отсюда, правило для измѣренія магнитныхъ румбовъ: *приведа діаметръ, соединяющій нули градусовъ кольца, въ отвѣсную плоскость даннаго направленія, замѣчаютъ: во 1) какой изъ концовъ стрѣлки болѣе удаленъ отъ наблюдателя: если сѣверный, то названіе румба будетъ начинаться съ буквы N (нордъ); если южный —*

Черт. 98.

Черт. 99.



*то съ буквы S (зюдъ); во 2) въ какую сторону отъ этого конца уклоняется данное направленіе — къ O (осту) или къ W (весту), и смотря по этому замѣчается вторая буква румба; наконецъ въ 3) отсчитываютъ по удаленному концу стрѣлки число градусовъ и долей ихъ. Къ этому надо прибавить, что если концы стрѣлки стоятъ на штрихахъ, подписанныхъ  $90^0$ , то направленіе имѣеть румбъ или O или W,*

смотря по тому, въ какую сторону расположено оно отъ сѣвернаго конца стрѣлки — вправо или влѣво.

Въ предыдущемъ предполагалось, что магнитная и геометрическая оси стрѣлки совмѣщаются, но иногда онѣ составляютъ между собою уголъ въ  $\frac{1}{2}^{\circ}$  и даже болѣе. Въ этомъ случаѣ отсчетъ по концу, соотвѣтствующій направленію геометрической оси стрѣлки, долженъ быть исправленъ на величину угла между осями; такъ напр., если обнаружено, что геометрическая ось стрѣлки уклоняется отъ сѣвернаго магнитнаго полюса ея на  $15'$  вправо, то отсчеты  $28^{\circ}45'$  и  $101^{\circ}0'$ , сдѣланные по концамъ стрѣлки чертежей 94 и 95, должны быть увеличены, и магнитные азимуты соотвѣтственныхъ направленій будутъ  $29^{\circ}0'$  и  $101^{\circ}15'$ . При томъ же уклоненіи геометрической оси, румбы *NW* и *SO* должны быть уменьшены, а румбы *NO* и *SW* увеличены на величину той же поправки; въ этомъ можно убѣдиться изъ чертежей 96, 97, 98, 99.

§ 73. Такъ какъ суточное измѣненіе склоненія стрѣлки не превышаетъ вообще, за рѣдкими исключеніями, 15 минутъ, то точность измѣренія магнитныхъ азимутовъ и румбовъ принимается также равною  $15'$ . Эта точность обуславливается также и тѣмъ, что вслѣдствіе тренія о шпиль стрѣлка не всегда точно устанавливается въ плоскости магнитнаго меридіана и что отсчеты по концу стрѣлки, неплотно прилегающему къ градусному кольцу, производятся на глазъ, безъ посредства верньера. Для устраненія этого послѣдняго недостатка пробовали прикрѣплять къ концамъ стрѣлки небольшія дуги съ начерченными на нихъ верньерами, но чрезъ это увеличивался вѣсъ стрѣлки, а слѣдов. и треніе ея о шпиль, такъ какъ треніе прямо пропорціонально вѣсу. Съ увеличеніемъ тренія уменьшается чувствительность стрѣлки или, иначе, притягательная ея способность.

Чувствительность стрѣлки зависитъ также отъ длины ея. Такъ обнаружено, что стрѣлка болѣе чувствительна тогда, когда отношеніе длины ея къ ширинѣ не менѣе отношенія  $40:1$ . Затѣмъ, такъ какъ магнитная сила значительно уменьшается по направленію отъ поверхности тѣла внутрь его, то стрѣлкамъ нужно сообщать такую форму, которая при одномъ и томъ же вѣсѣ имѣетъ возможно большую поверхность. Вслѣдствіе этого стрѣлка, имѣющая форму, изображенную на черт. 87, наиболѣе выгодна; и дѣйствительно, изъ опытовъ *Куломба* и *Кэтера* (Käter) обнаружилось, что чувствительность стрѣлокъ черт. 84, 85 и 87 относится между собою какъ  $1:1,062:1,140$ . Наконецъ, для увеличенія чувствительности стрѣлки, полезно также, чтобы шпиль не оканчивался остриемъ, а былъ немного закругленъ.

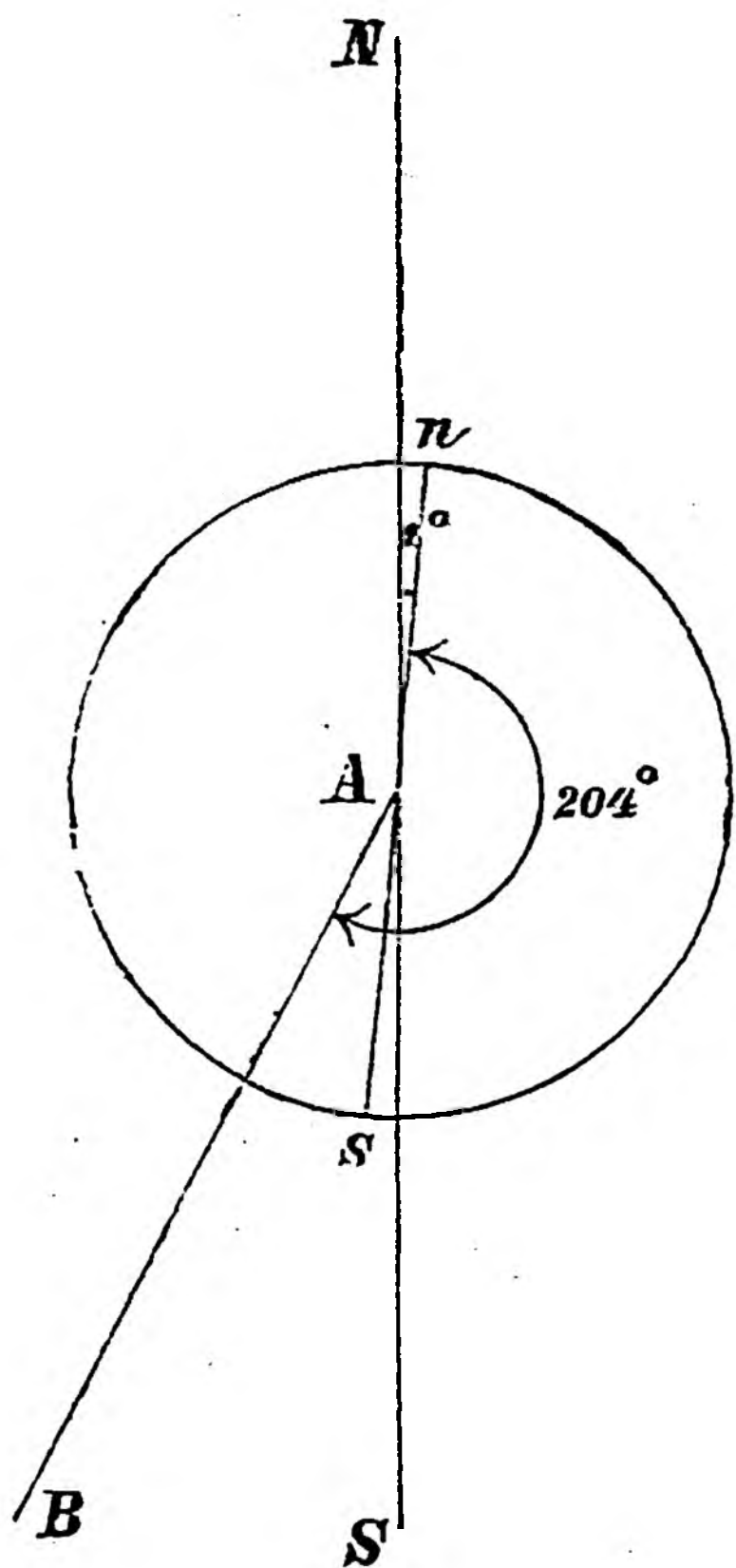
§ 74. Такъ какъ азимуты и румбы другъ друга обуславливаютъ, то, имѣя румбъ какого нибудь направленія, можно вычислить для того же направленія азимутъ и наоборотъ. Дѣйствительно, если названіе румба направленія *AC* (черт. 97) есть *NO*, то азимутъ того же направленія есть  $\alpha_1$ , при чемъ  $\alpha_1 = r_1$ ; если названіе румба есть *SO* (черт. 98), то соотвѣтственный азимутъ есть  $\alpha_2 = 180^{\circ} - r_2$ ; если названіе румба

есть *SW* (черт. 99), то соответственный азимутъ будетъ  $\alpha_3 = 180^\circ + r_3$ ; наконецъ, если имѣемъ румбъ *NW* (черт. 96), то азимутъ  $\alpha = 360^\circ - r$ .

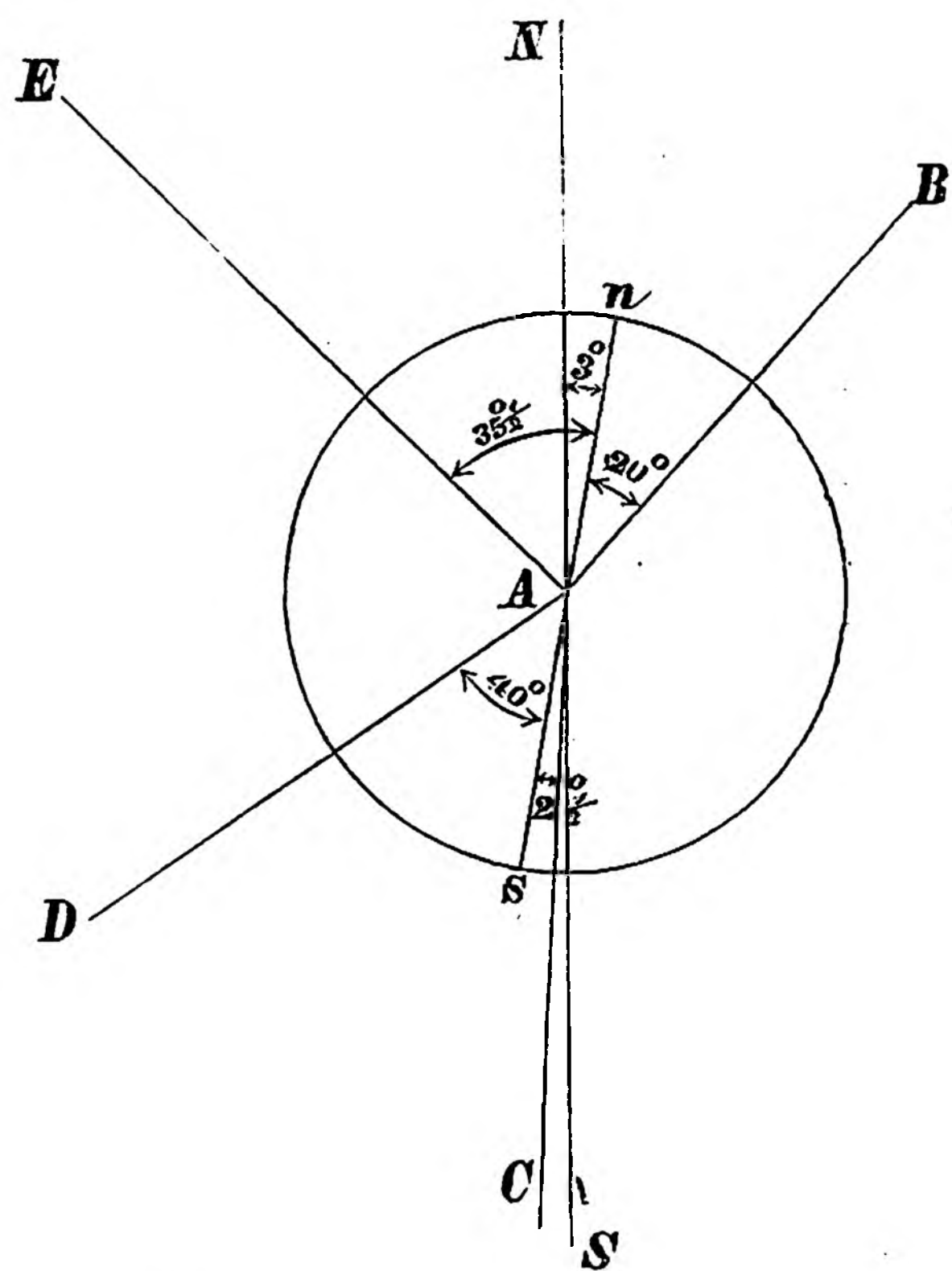
Изъ тѣхъ же чертежей отъ 96 до 99 выводится и обратное правило, служащее для превращенія данныхъ азимутовъ въ соответственные румбы. Если азимутъ  $\alpha_1 < 90^\circ$  (черт. 97), то соответственный румбъ называется *NO* и градусная его величина  $r_1 =$  градусной величинѣ даннаго азимута  $\alpha_1$ ; если данный азимутъ  $> 90^\circ$  (черт. 98), то румбъ будетъ *SO* и градусная величина его  $r_2 = 180^\circ - \alpha_2$ ; если азимутъ  $\alpha_3 > 180^\circ$  (черт. 99), то румбъ будетъ *SW* и  $r_3 = \alpha_3 - 180^\circ$ ; наконецъ, если имѣемъ  $\alpha > 270^\circ$  (черт. 96), то румбъ будетъ *NW* и  $r = 360^\circ - \alpha$ .

§ 75. Имѣя магнитный азимутъ или магнитный румбъ направленія на мѣстности, можно опредѣлить истинный азимутъ или истинный румбъ того же направленія; для чего нужно только знать склоненіе стрѣлки

Черт. 100.



Черт. 101.



въ данномъ мѣстѣ. Если склоненіе восточное, то истинный азимутъ = магнитному азимуту + склоненіе, а если склоненіе западное, то истинный азимутъ = магнитному — склоненіе стрѣлки. Такъ, если *NS* (черт. 100) есть географическій меридіанъ, а *ns* — ось магнитной стрѣлки, уклоняющаяся отъ меридіана сѣвернымъ концомъ вправо, т.-е. къ востоку на  $1^\circ$ , то истинный азимутъ направленія *AB*, магнитный азимутъ котораго =  $204^\circ$ , будетъ  $205^\circ$ ; если бы склоненіе было западное  $1^\circ$ , то истинный азимутъ того же направленія былъ бы  $203^\circ$ .

Вліяніе склоненія магнитной стрѣлки на румбы выражается тѣмъ, что при восточномъ склоненіи магнитные румбы *NW* и *SO* увеличены на величину склоненія, а румбы *NO* и *SW* — уменьшены; при западномъ склоненіи румбы *NW* и *SO* — уменьшены, а *NO* и *SW* — увеличены на величину склоненія. Слѣдов. въ первомъ случаѣ нужно градусную

величину румбовъ *NW* и *SO* уменьшить, а градусную величину румбовъ *NO* и *SW* — увеличить; во второмъ же случаѣ, т.-е. при западномъ склоненіи, румбы *NW* и *SO* нужно увеличить, а *NO* и *SW* — уменьшить на величину склоненія. Въ самомъ дѣлѣ, если *NS* (черт. 101) есть географическій меридіанъ, а *ns* — ось стрѣлки, имѣющей восточное склоненіе  $3^\circ$ , то истинные румбы направленій *AB*, *AC*, *AD* и *AE*, магнитные румбы которыхъ суть:

$$NO : 20^\circ, SO : 2\frac{1}{2}^\circ, SW : 40^\circ, NW : 35\frac{1}{2}^\circ,$$

будутъ соответственно:

$$NO : 23^\circ, SW : \frac{1}{2}^\circ, SW : 43^\circ, NW : 38\frac{1}{2}^\circ.$$

Таковы правила для перечисленія магнитныхъ азимутовъ и румбовъ на истинные; нетрудно убѣдиться въ томъ, что правила будутъ обратныя при перечисленіи истинныхъ азимутовъ и румбовъ на магнитные; поэтому при восточномъ склоненіи магнитный азимутъ = истинному безъ склоненія, а при склоненіи западномъ магнитный азимутъ = истинному плюсъ склоненіе. Затѣмъ, при восточномъ склоненіи истинные румбы *NW* и *SO* уменьшены на величину склоненія, а румбы *NO* и *SW* — увеличены; при западномъ склоненіи — наоборотъ.

### Ш т а т и в ы .

§ 76. Полевые геодезическіе инструменты помѣщаются, большею частью, на штативахъ<sup>1)</sup>. Такъ называется то приспособленіе, на которое ставится инструментъ своею подставкою. Отъ штативовъ требуется устойчивость, прочность, простота и возможная портативность. Простота устройства и удобство для перевозки достигается тѣмъ, что штативы имѣютъ только три ножки, вращающіяся около горизонтальныхъ осей, укрѣпленныхъ въ одной общей части — *головѣ* штатива. Хотя большею устойчивостью и прочностью пользуются металлическіе штативы (железные или мѣдные), употребляющіеся иногда для астрономическихъ инструментовъ, тѣмъ не менѣе въ низшей геодезіи, въ виду частаго измѣненія мѣста инструмента, они дѣлаются для легкости изъ дерева съ ножками, оканчивающимися железными или мѣдными наконечниками, вдавливаемыми въ землю.

Наиболѣе употребительныя формы штативовъ суть:

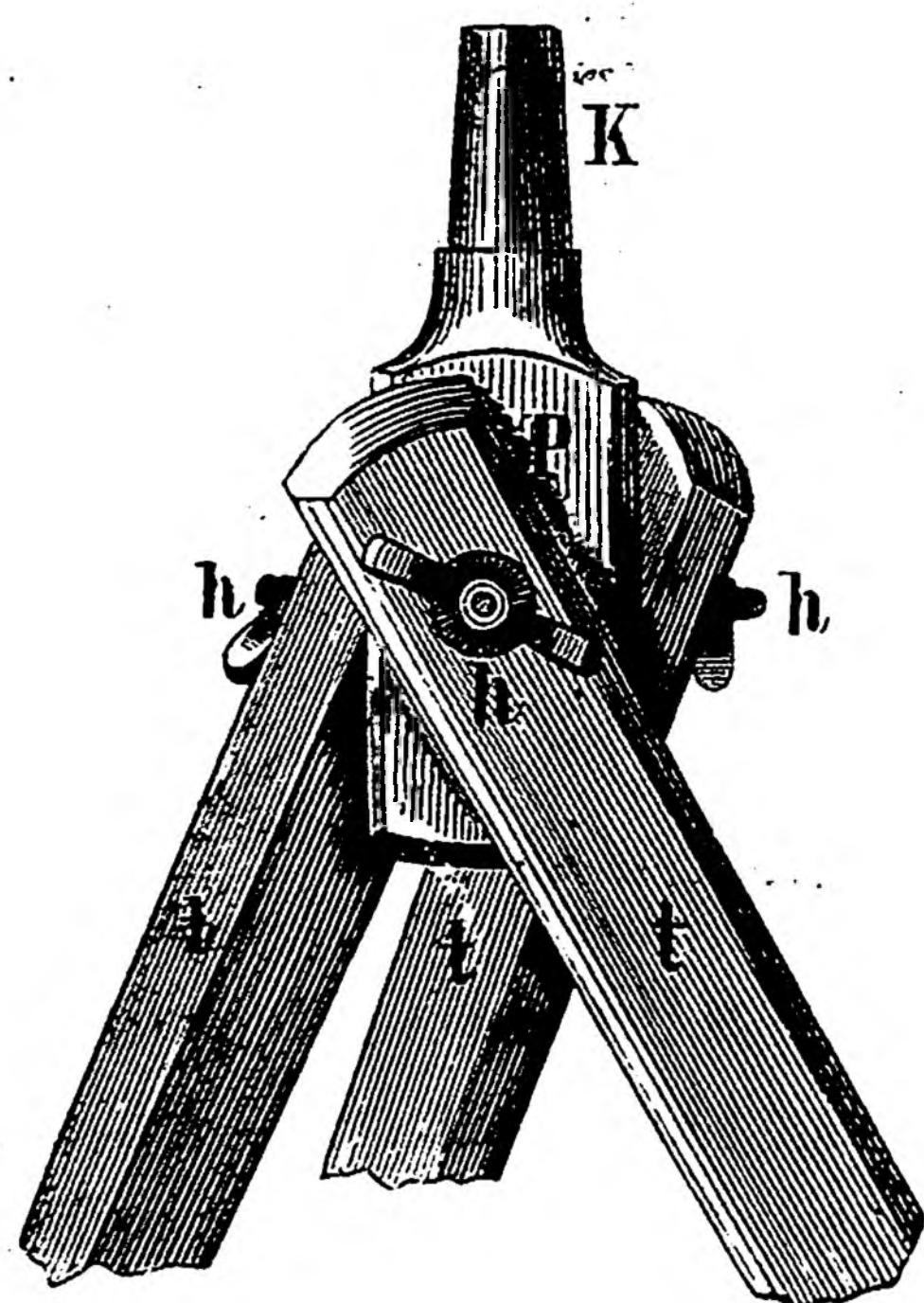
а) *Штативъ съ цапфой* (черт. 102) есть старинный, удобный для перевозки и самый дешевый штативъ. Голова его состоитъ изъ деревянной трехгранной призмы *P*, оканчивающейся кверху усѣченнымъ конусомъ *K*, который и составляетъ собственно цапфу. Перпендикулярно къ сторонамъ призмы укрѣплены железные или мѣдные болты, оканчивающіеся винтовою нарезкою и служащіе осями вращенія для трехъ ножекъ *t* штатива. На винты болтовъ навинчиваются гайки *h*, закрѣп-

<sup>1)</sup> Отъ лат. слова *stativus* — стоящій.

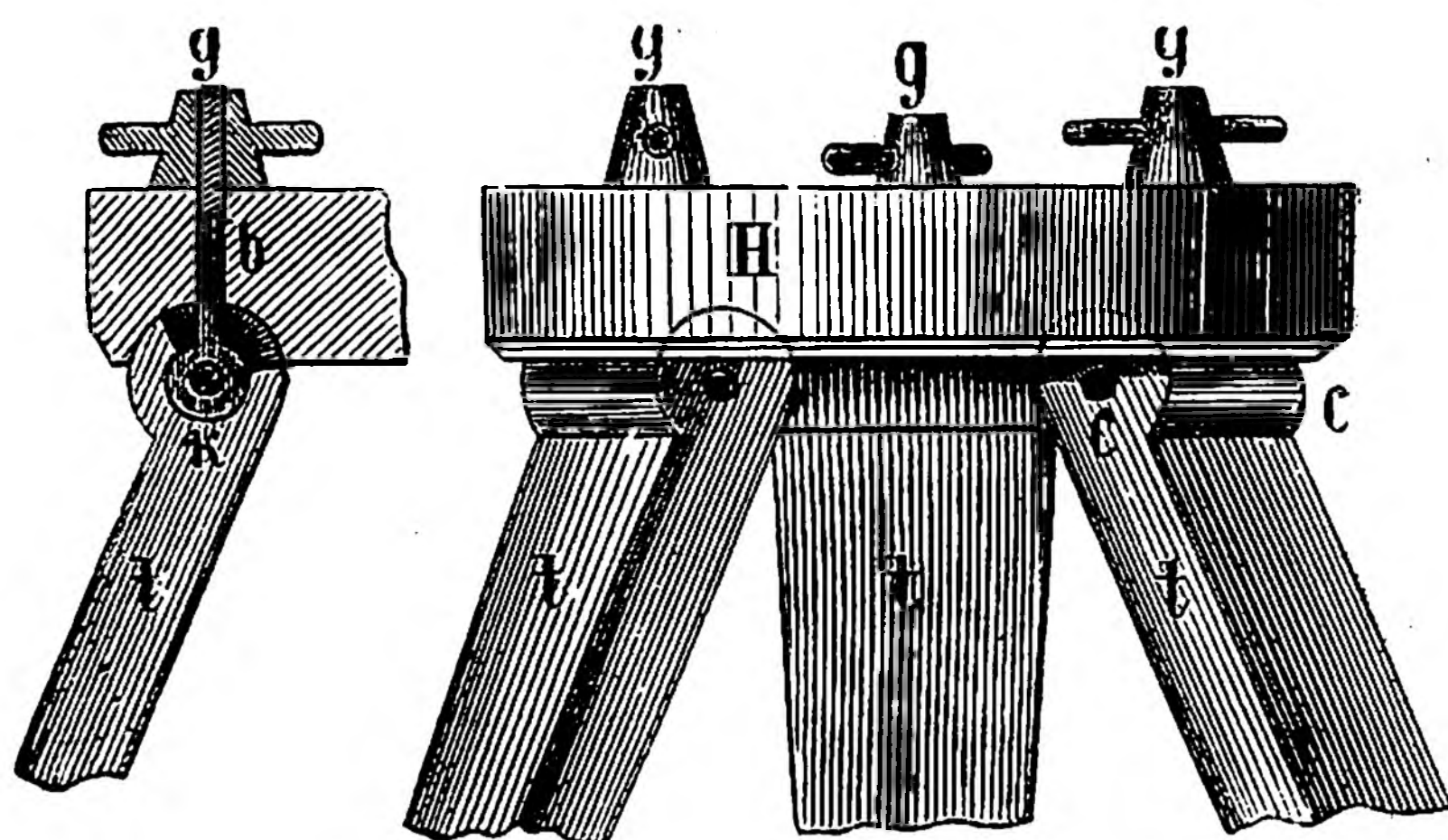
ляющія ножки штатива при потребномъ ихъ раствореніи. Недостаткомъ этого штатива служитъ малая его устойчивость, происходящая отъ зыбкости ножекъ и малой величины головы; вслѣдствіе чего эти штативы употребляются только для легкихъ инструментовъ.

в) *Мюнхенскій штативъ* (черт. 103), предложенный *Рейхенбахомъ*, состоитъ изъ цилиндрической головы *H*, на нижней плоскости которой сдѣланы три полуцилиндрическія углубленія, въ которыя вкладываются закругленными частями ножки *t*, вращающіяся на горизонтальныхъ болтахъ *c*. Каждый такой болтъ имѣетъ кольцо *k*, обхватывающее болтъ *c* и стержень *b* (см. сбоку чертежа разрѣзъ), проходящій чрезъ голову *H* и оканчивающійся винтомъ съ гайкою *g*, которая иногда выступаетъ надъ верхнею плоскостью головы, а иногда впускается въ нее вровень съ этою

Черт. 102.



Черт. 103.

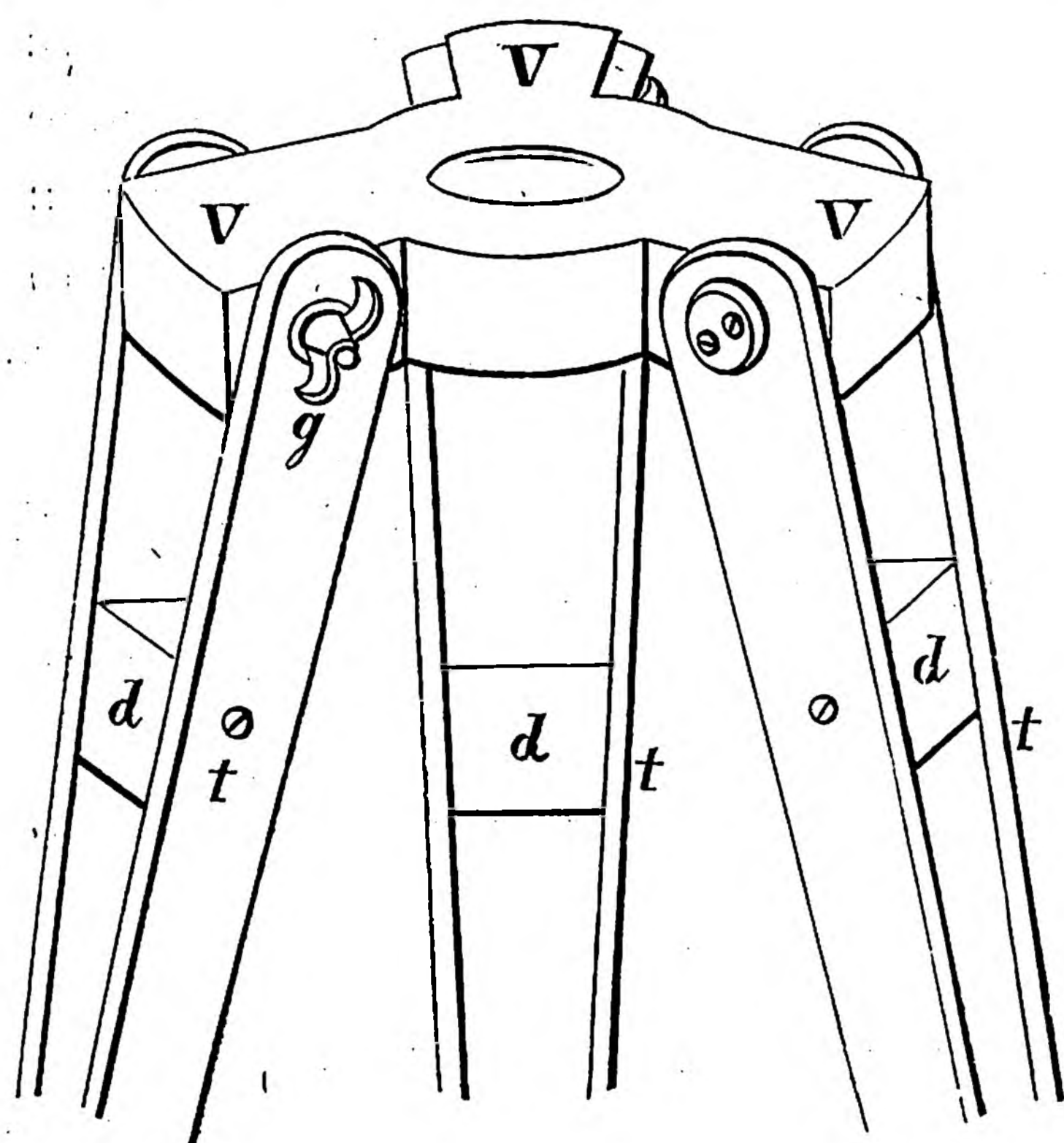


плоскостью. Гайки *g* служатъ для регулированія тренія между закругленными частями ножекъ и углубленіями головы. Если эти закругленія и углубленія совершенно цилиндричны, имѣютъ одинъ и тотъ же радіусъ и отверстія для болтовъ *c* имѣютъ тотъ же центръ, что закругленія, то (единственно только при выполненіи этихъ условій) гайки можно завернуть разъ навсегда настолько, чтобы вращеніе ножекъ около болтовъ совершалось хотя и туго, но плавно, безъ малѣйшаго колебанія ихъ въ головѣ. Штативъ этотъ достаточно устойчивъ и имѣетъ весьма важное преимущество передъ предыдущимъ, состоящее въ томъ, что установка его на мѣстности производится гораздо быстрѣе, такъ какъ не требуетъ отвинчиванія и завинчиванія гаекъ *g*. Строгое соблюденіе необходимыхъ условій требуетъ очень хорошаго мастера, что и можно считать недостаткомъ штатива. Къ числу достоинствъ штатива нужно причислить также и то, что голова его можетъ имѣть въ срединѣ круглое отверстіе, настолько широкое, что допускаетъ передвиженіе угломернаго инструмента по верхней ея плоскости. Это въ значительной степени ускоряетъ установку на мѣстности центра лимба инструмента надъ вершиною измѣряемыхъ угловъ, потому что въ противномъ случаѣ

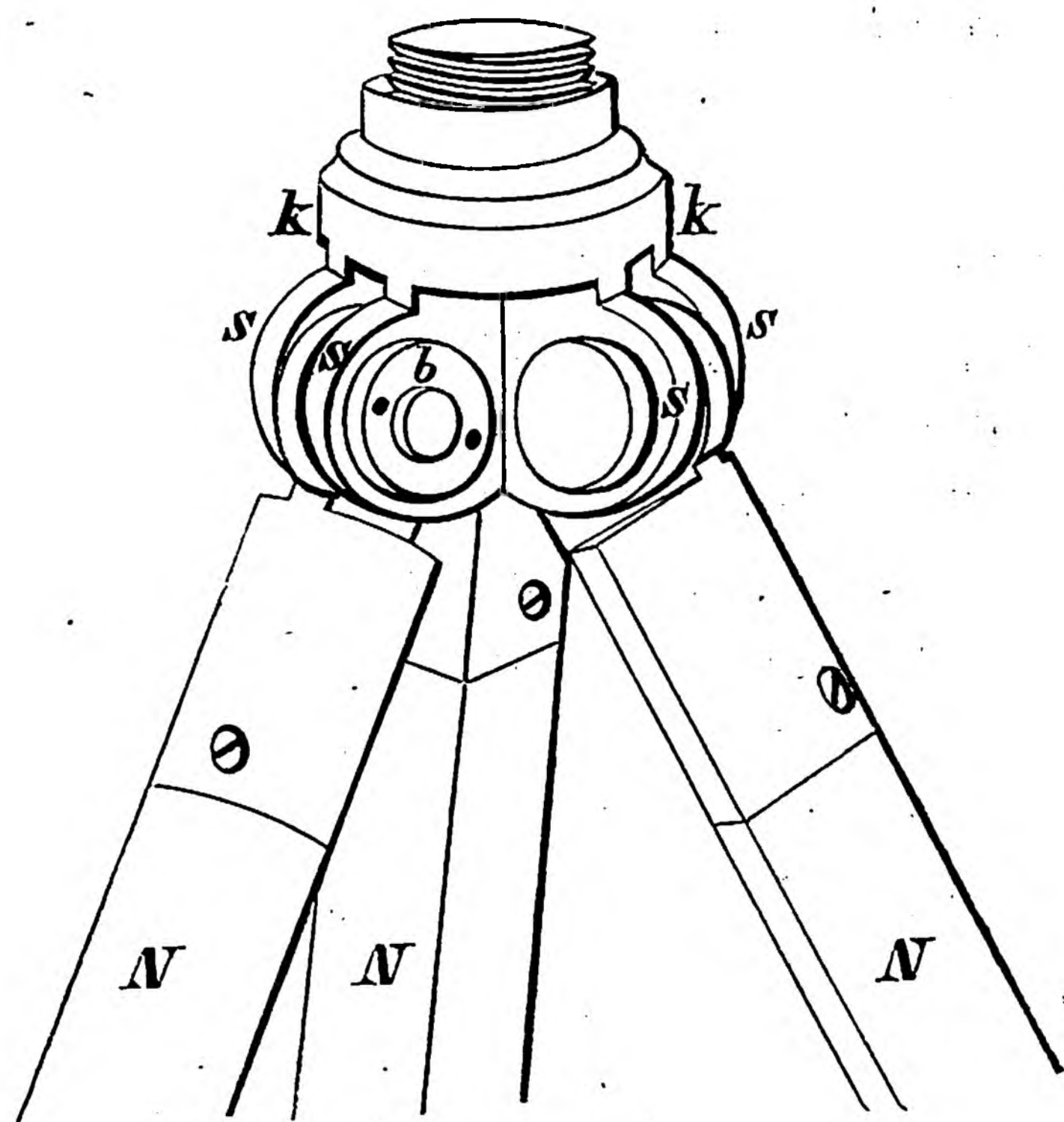
нужно передвигать инструментъ вмѣстѣ со штативомъ. Лучшіе мюнхенскіе штативы выходятъ изъ мастерской механика *Брейтаунта* въ Касселѣ.

с) *Французскій штативъ*. Голова его представляетъ кругъ съ тремя выступами *V* (черт. 104), сквозь которые проходятъ болты съ гайками *g*, служащіе осями вращенія для ножекъ. Выступы *V* обхватываются ножками штатива, которыя состоятъ изъ отдѣльныхъ деревянныхъ планокъ, постепенно сближающихся книзу и разъединенныхъ между собою дощечками *d*. Если внутреннія стороны планокъ прилегаютъ возможно точно къ боковымъ стѣнкамъ выступовъ *V*, не оставляя просвѣтовъ, то гайки *g* можно завернуть разъ навсегда настолько сильно, чтобы вращеніе ножекъ около болтовъ происходило туго и плавно, безъ скачковъ и безъ малѣйшаго колебанія ножекъ около выступовъ; въ противномъ случаѣ

Черт. 104.



Черт. 105.



нужно отвинчивать и завинчивать гайки *g* каждый разъ при установкѣ штатива на мѣстности. Этотъ штативъ весьма легокъ и достаточно устойчивъ, вслѣдствіе чего и предпочитается обоимъ предыдущимъ. Недостаткомъ его считаютъ то, что планки, изъ которыхъ состоятъ ножки, подвержены болѣе частой ломкѣ во время перевозки; но если принять во вниманіе, что изготовленіе такой планки можетъ быть произведено всякимъ, даже и посредственнымъ, плотникомъ недостатокъ этотъ не особенно ощутителенъ. Нужно сказать, что въ головѣ этого штатива дѣлается также, какъ въ мюнхенскомъ, круглое отверстіе, служащее для передвиженія по ней угломернаго инструмента; въ этомъ случаѣ, кругъ головы дѣлается больше, а выступы *V* помѣщаются уже не вровень съ верхнею плоскостью этого круга, а снизу его. Голова этого штатива дѣлается въ послѣднее время металлическою.

д) *Англійскій штативъ*. Голова его состоитъ изъ металлическаго цилиндра *k* (черт. 105) съ винтовою нарѣзкою наверху, служащею для

навинчиванія на нее инструмента. Снизу цилиндра, изъ одного съ нимъ куска металла, сдѣланы три пары щечекъ  $s$  съ пропущенными чрезъ нихъ болтами  $b$ , служащими осями вращенія для ножекъ  $N$  штатива. Ножки, представляющія въ поперечномъ сѣченіи круговые секторы съ угломъ въ  $120^\circ$ , будучи сдвинуты вмѣстѣ, составляютъ круглую неособенно толстую палку, которая можетъ служить опорой при ходѣбѣ. Вслѣдствіе зыбкости этого штатива, происходящей главнымъ образомъ отъ незначительности размѣровъ головы, онъ употребляется рѣже французскаго и мюнхенскаго.

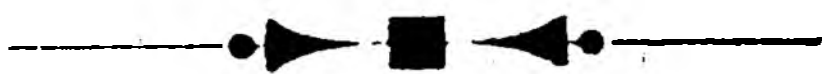
е) Наконецъ нужно еще упомянуть, что для простѣйшихъ и легкихъ инструментовъ штативомъ служить также простая палка.

## В и н т ы .

§ 77. Кромѣ винтовъ, служащихъ для соединенія другъ съ другомъ *навсегда* отдѣльныхъ частей, въ геодезическихъ инструментахъ встрѣчаются также и винты, которыми пользуются во время самаго употребленія инструмента. Они отличаются отъ первыхъ своими шляпками, устройство которыхъ таково, что винтъ можно поворачивать или непосредственно рукою, или особымъ ключомъ или шпилькою, тогда какъ первые, на шляпкахъ которыхъ сдѣланъ желобокъ, поворачиваются только при помощи отвертокъ. Втораго рода винты бываютъ: *становые*, *подъемные*, *нажимательные* или *закрѣпительные* и *исправительные*.

*Становой* винтъ служитъ для прикрѣпленія инструмента къ штативу, что необходимо для того, чтобы не снимать инструмента со штатива во время перенесенія его при съемкѣ съ одного пункта на другой (см. напр. винтъ  $R$  на черт. 282 и 283). *Подъемные* винты употребляются для приведенія плоскости инструмента въ горизонтальное или вертикальное положеніе (см. напр. винты  $V$  на чертежахъ 12 и 13). *Нажимательный* винтъ служитъ для *временнаго* прикрѣпленія одной части инструмента къ другой, чѣмъ и уничтожается такъ называемое *грубое* передвиженіе этой части, производимое непосредственно рукою (см. напр., винтъ  $n$  на черт. 11). *Микрометреннымъ* винтомъ сообщаютъ медленные передвиженія частямъ инструмента (см. напр. винты  $M$  на черт. 280 и 282). Наконецъ, *исправительными* винтами достигается то, что въ инструментѣ будутъ выполнены тѣ условія, которыя отъ него требуются (какъ напр. винты  $a, a', b, b'$  черт. 34; винты  $u, u_1, v$  чертежей 67а и 67б).

Съ теченіемъ времени, вслѣдствіе стиранія нарѣзокъ винта или гайки, можетъ образоваться *мертвый ходъ*, т.-е. такое вращеніе винта, которое не производитъ требуемаго движенія. Эти винты или гайки подлежатъ замѣнѣ новыми.



## ГЛАВА II.

### Снаряды и приемы, употребляющіеся при составленіи плановъ.

§ 78. При составленіи плана строятъ на бумагѣ по даннымъ, полученнымъ при съемкѣ, фигуры, подобныя горизонтальнымъ проложеніямъ соотвѣтственныхъ фигуръ на мѣстности, отдѣлываютъ планъ и сопровождаютъ его необходимыми подписями.

Построеніе на бумагѣ фигуръ, подобныхъ горизонтальнымъ проложеніямъ ихъ на мѣстности, носитъ отдѣльное названіе *накладки* плана.

Къ настоящей главѣ отнесены тѣ снаряды, которые служатъ для накладки плановъ и которые называются *чертежными*, а также снаряды и приемы для перерисовки плановъ.

#### Снаряды для накладки плановъ.

##### а) Линейка и треугольникъ.

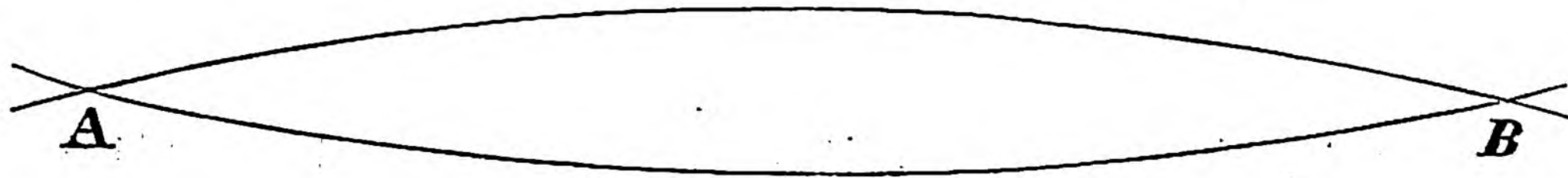
§ 79. Линейка и треугольникъ служатъ для прочерчиванія на бумагѣ прямыхъ линій, а потому прежде ихъ употребленія нужно убѣдиться въ возможности выполненія ими своего назначенія; иначе, нужно убѣдиться въ выполненіи линейкою и треугольникомъ слѣдующихъ условій: 1) *Верхняя и нижняя поверхности линейки и треугольника должны быть плоскостями.* Это условіе провѣряется или на-глазъ, при чемъ смотрятъ по различнымъ направленіямъ линейки и треугольника, или, что лучше, пользуются, если возможно, вывѣренной плоскостью, положивъ эти снаряды на нее и смотря на то — соприкасаются ли они съ нею и нѣтъ ли просвѣтовъ. Покоробленные линейка и треугольникъ негодны къ употребленію. 2) *Ребра линейки и треугольника должны быть прямыми линіями.* Кладутъ линейку или треугольникъ на бумагу и, плотно прижавъ ихъ къ ней, проводятъ тонко очиненнымъ карандашомъ по испытуемому ребру линію, на концахъ которой замѣчаютъ



двѣ точки *A* и *B* (черт. 106); затѣмъ прикладываютъ линейку (треугольникъ) тѣмъ же ребромъ къ точкамъ *A* и *B* съ другой стороны прочерченной линіи и вновь проводятъ линію по ребру. Если обѣ прочерченныя чрезъ *A* и *B* линіи совмѣщаются, то условіе выполнено; въ противномъ случаѣ чрезъ *A* и *B* будутъ проходить двѣ линіи и снаряды отдаются механику для исправленія.

Если треугольникъ долженъ быть прямоугольнымъ, то отъ него требуется выполненіе еще одного условія, а именно, чтобы *два короткія ребра его составляли между собою прямой уголъ*. Для повѣрки прикладываютъ треугольникъ однимъ короткимъ ребромъ къ вывѣренной линейкѣ,

Черт. 106.



по другому короткому ребру прочерчиваютъ карандашемъ линію и вблизи одного изъ концовъ ея назначаютъ точку; послѣ чего, не сдвигая линейки, поворачиваютъ треугольникъ такъ, чтобы нижняя плоскость его обратилась кверху, прикладываютъ треугольникъ тѣмъ же ребромъ къ линейкѣ и, придвинувъ къ замѣченной точкѣ, прочерчиваютъ вновь линію, которая при выполненіи условія должна совмѣщаться съ линіею прежде прочерченною; въ противномъ случаѣ треугольникъ долженъ быть исправленъ механикомъ.

Для прочности сохраненія предыдущихъ условій, линейка и треугольникъ дѣлаются изъ твердаго дерева: чернаго или грушеваго, или же изъ стали или мѣди; впрочемъ мѣдныя линейки и треугольники имѣютъ то неудобство, что пачкаютъ бумагу. Размѣры линейки и треугольника весьма разнообразны; наиболѣе употребительные суть: длина линейки около 35 дюймовъ, а длина гипотенузы треугольника около 14 дюймовъ.

*Примѣчаніе.* Здѣсь кстати показать — какъ посредствомъ линейки вывѣряется плоскость. Удостоверившись сначала на-глазъ въ томъ, что линейка не покороблена, повѣряютъ ея ребро; затѣмъ, кладя линейку этимъ ребромъ на испытуемую поверхность по возможно различнымъ направленіямъ, смотрятъ — не имѣется ли просвѣтовъ между ребромъ линейки и поверхностью. Если нѣтъ, то поверхность есть плоскость.

#### в) Циркули <sup>1)</sup>.

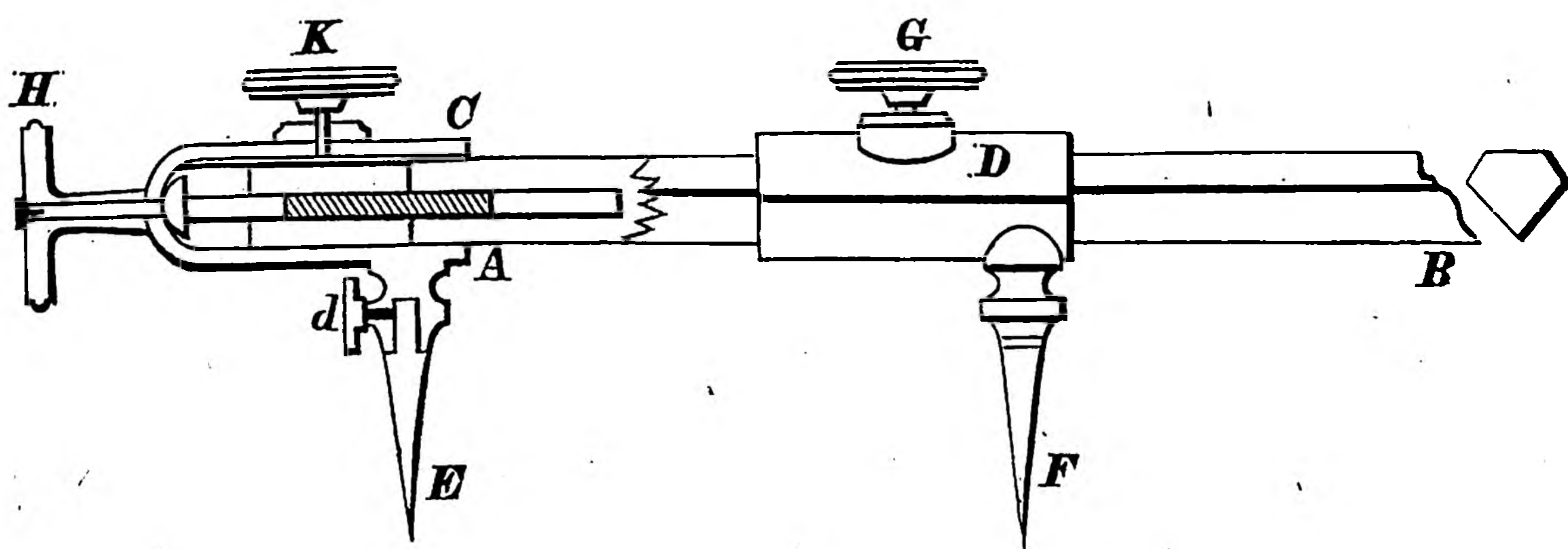
§ 80. Устройство *простого* или такъ называемаго *ручнаго* циркуля видно изъ черт. 107. Концы ножекъ *A* и *B*, для устраненія погнутія ихъ, дѣлаются изъ хорошо закаленной стали и заострены такъ, чтобы въ то время, когда они сдвинуты вмѣстѣ, наколъ на бумагѣ давалъ *одну* точку. Верхнія части ножекъ соединяются и составляютъ шарниръ; при

<sup>1)</sup> Лат. слово *circulus* уменьшительное отъ *circus* — кругъ.

чемъ стальные пластинки, которыми оканчивается одна изъ ножекъ, входятъ въ промежутки между мѣдными пластинками на концѣ другой ножки. Пластинки эти дѣлаются изъ различныхъ металловъ для уменьшенія между ними тренія и для плавности вращенія ножекъ около общей ихъ оси. Чтобы вращеніе ножекъ сдѣлать болѣе легкимъ или болѣе тугимъ, посредствомъ особаго ключа ослабляется или закрѣпляется гайка *g*, наворачивающаяся на конецъ винта *o*, проходящаго чрезъ эти пластинки. При употребленіи циркуля надо держать его такъ, чтобы плоскость его была, по возможности, перпендикулярна къ плоскости бумаги и, что главное, не надо особенно сильно раздвигать ножки, которыя врѣзываются тогда въ бумагу подъ очень острымъ угломъ. Наибольшее раздвиженіе ножекъ не должно превышать 5 дюймовъ для циркуля средней величины.

§ 81. Штангенъ<sup>1)</sup> или рычажный циркуль предназначенъ для измѣренія и нанесенія на бумагу длинныхъ линій (болѣе 5 дюймовъ). Правая сторона чертежа 108 изображаетъ этотъ циркуль въ перспективѣ, а лѣвая сторона того же чертежа есть вертикальный разрѣзъ циркуля. Онъ состоитъ изъ деревянной или металлической, пятигранной или круглой штанги *AB*, по которой двигаются 2 муфточки *D* и *C*.

Черт. 108.



Одна изъ нихъ, и именно *D*, можетъ быть передвигаема вдоль всей штанги и закрѣпляема на ней нажимательнымъ винтомъ *G*, а другая передвигается только вслѣдствіе вращенія головки *H* микрометричнаго винта, входящаго въ гайку, укрѣпленную въ штангѣ; прежде однако, чѣмъ дѣйствовать микрометричнымъ винтомъ надо ослабить нажимательный винтъ *K*. Снизу муфточекъ *C* и *D* помѣщены заостренные

1) Нѣмецк. слово *Stange* означаетъ брусокъ, рычагъ.

ножки  $E$  и  $F$  циркуля; одна изъ нихъ прикрѣплена къ муфточкѣ наглухо, а другая удерживается въ ней винтомъ  $d$  и, на случай черченія окружностей, можетъ быть замѣнена или цилиндромъ съ карандашемъ, или инструментальнымъ перомъ (рейсфедеромъ).

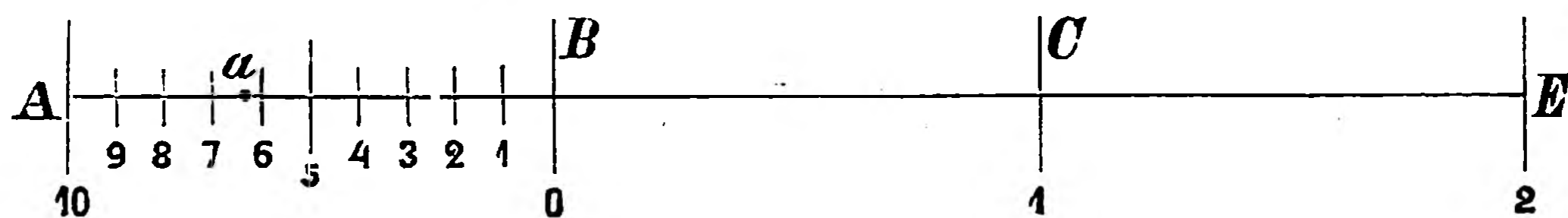
Если въ циркуль нужно взять линію  $MN$ , то поступаютъ такъ: ставятъ конецъ ножки  $E$  въ точку  $M$  приблизительно и, ослабивъ нажимательный винтъ  $G$ , передвигаютъ муфточку  $D$  настолько, чтобы острие  $F$  помѣстилось поближе къ точкѣ  $N$  линіи. Затѣмъ закрѣпляютъ винтъ  $G$ , ставятъ острие  $F$  въ точку  $N$  точно, ослабляютъ винтъ  $K$ , вращаютъ винтъ  $H$  до тѣхъ поръ, пока острие  $E$  будетъ точно совпадать съ  $M$  и наконецъ закрѣпляютъ винтъ  $K$ .

### с) Масштабъ.

§ 82. Для нанесенія на планъ длинъ линій, уменьшенныхъ противъ соотвѣтственныхъ линій мѣстности въ известное число разъ, для измѣренія этихъ линій на планѣ и для указанія во сколько разъ линія плана уменьшена противъ соотвѣтственной линіи мѣстности употребляется *масштабъ*<sup>1)</sup>. Масштабы бываютъ *линейные* и *численные*. Линейный масштабъ есть діаграмма<sup>2)</sup>, служащая для нанесенія и измѣренія длинъ линій на планѣ, а численный масштабъ есть отношеніе длины линіи на планѣ къ длинѣ соотвѣтственной линіи на мѣстности. Линейный масштабъ бываетъ двухъ родовъ: *простой* и *сложный* или *поперечный*<sup>3)</sup>.

§ 83. *Простой* линейный масштабъ есть прямая линія, на которой нѣсколько разъ отложена опредѣленная длина  $AB$  (черт. 109), принятая

Черт. 109.



за *основаніе* при построеніи масштаба и соотвѣтствующая опредѣленному числу сажень на мѣстности, напр. 10 саж. Если  $AB$  раздѣлимъ на 10 равныхъ частей, то каждая изъ нихъ будетъ соотвѣтствовать одной сажени на мѣстности. Для нанесенія по этому масштабу линій длиною въ 7 саж. и въ 12 саж., нужно въ первомъ случаѣ поставить одну ножку циркуля въ точку  $B$ , а другую на штрихъ, подписанный цифрою 7; во второмъ случаѣ — одну ножку циркуля въ точку  $C$ , а другую на штрихъ, подписанный цифрою 2. Нанеся эти растворенія

1) Слово *масштабъ* происходитъ отъ 2 нѣмецк. словъ: *Mass* — мѣра и *Stab* — жезль, палка, полоса.

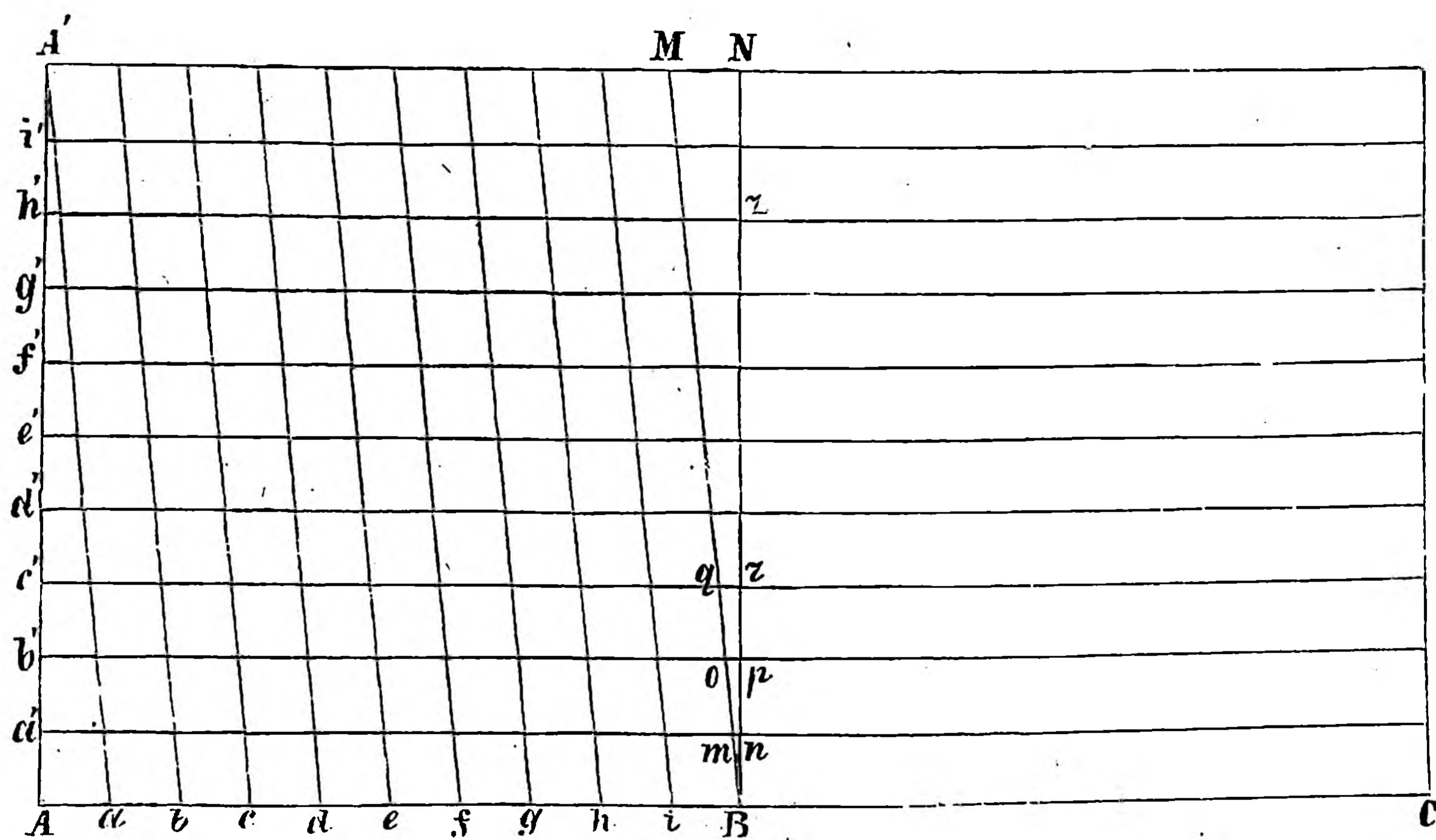
2) Отъ 2 греческ. словъ: *dia* — насквозь и *grapho* — пишу; *diagrapho* — обвести фигуру линіями. Вообще слово *диаграмма* означаетъ построение, рѣшающее вопросъ.

3) Изобрѣтеніе *поперечнаго* линейнаго масштаба принадлежитъ *Ивану Гомме*, бывшему профессору математики въ Лейпцигѣ. Долгое время изобрѣвателемъ его считался датскій астрономъ *Тихо-де-Браге*, пока не обнаружилось, что Браге заимствовалъ это построение изъ сочиненій Гомме 1553 года.

ножекъ на планъ, получимъ на немъ длины, которыя во столько разъ менѣе соотвѣтственныхъ длинъ на мѣстности, во сколько длина основанія  $AB$  менѣе длины 10 сажень. Для измѣренія по этому масштабу какой-нибудь линіи плана дѣлаютъ раствореніе ножекъ циркуля равнымъ длинѣ этой линіи и ставятъ одну ножку въ ту изъ точекъ:  $B, C, E, \dots$  на масштабѣ, чтобы другая ножка упала между  $B$  и  $A$ ; тогда отсчетъ, сдѣланный при этой послѣдней ножкѣ, выразитъ длину линіи плана. Такъ, если одна ножка помѣщена въ  $C$ , а другая стоитъ на штрихѣ, обозначенномъ цифрою 3, то длина линіи плана будетъ 13 сажень. Если одна ножка стоитъ въ  $E$ , а другая въ точкѣ  $a$ , отстоящей отъ штриха 6, по оцѣнкѣ на глазъ, на 0,3 промежутка между 6 и 7, то длина линіи плана = 26,3 саж.

Въ томъ случаѣ, когда основаніе  $AB$  должно соотвѣтствовать большому числу сажень мѣстности, напр. 50, 100, 200 и т. п., или когда нужно наносить на планъ мелкія доли сажени, то, вслѣдствіе неудобства, а другой разъ и невозможности раздѣленія основанія  $AB$  на большое число равныхъ частей, употребляется *поперечный* масштабъ. Если основаніе масштаба  $AB = \delta$  (черт. 110) отложимъ отъ точки  $A$  нѣсколько разъ по прямой линіи, раздѣлимъ  $AB$  на  $\alpha$  равныхъ частей,

Черт. 110.



изъ точекъ  $A, B, C$  возставимъ перпендикуляры, на перпендикулярѣ  $AA'$  отложимъ  $\beta$  произвольныхъ, но равныхъ между собою частей, проведемъ чрезъ точки  $a', b', c', d', \dots i'$  и  $A'$  линіи параллельныя съ линіею  $AC$ , соединимъ точки  $a$  и  $A'$  прямою линіею, и наконецъ чрезъ точки  $b, c, d, \dots i, B$  проведемъ линіи, параллельныя съ  $aA'$ , то получимъ линейный *поперечный* масштабъ. Нетрудно показать, что наименьшее дѣленіе этого масштаба, а именно длина  $mn$ , во столько разъ менѣе основанія  $AB = \delta$ , сколько единицъ заключается въ произведеніи  $\alpha\beta$ ; иначе  $mn = x = \frac{\delta}{\alpha\beta}$ . Дѣйствительно, изъ подобныхъ треугольниковъ  $mBn$  и  $MVN$  имѣемъ

$$x : MN = Bn : BN;$$

откуда 
$$x = \frac{MN \cdot Bn}{BN}$$

Но 
$$MN = \frac{\delta}{\alpha}, \text{ а } Bn = \frac{BN}{\beta},$$

поэтому 
$$x = \frac{\delta}{\alpha\beta} \tag{1}$$

Точно также изъ подобныхъ треугольниковъ  $oBr$  и  $MbN$ ,  $qBr$  и  $MbN$  и т. д. докажемъ, что

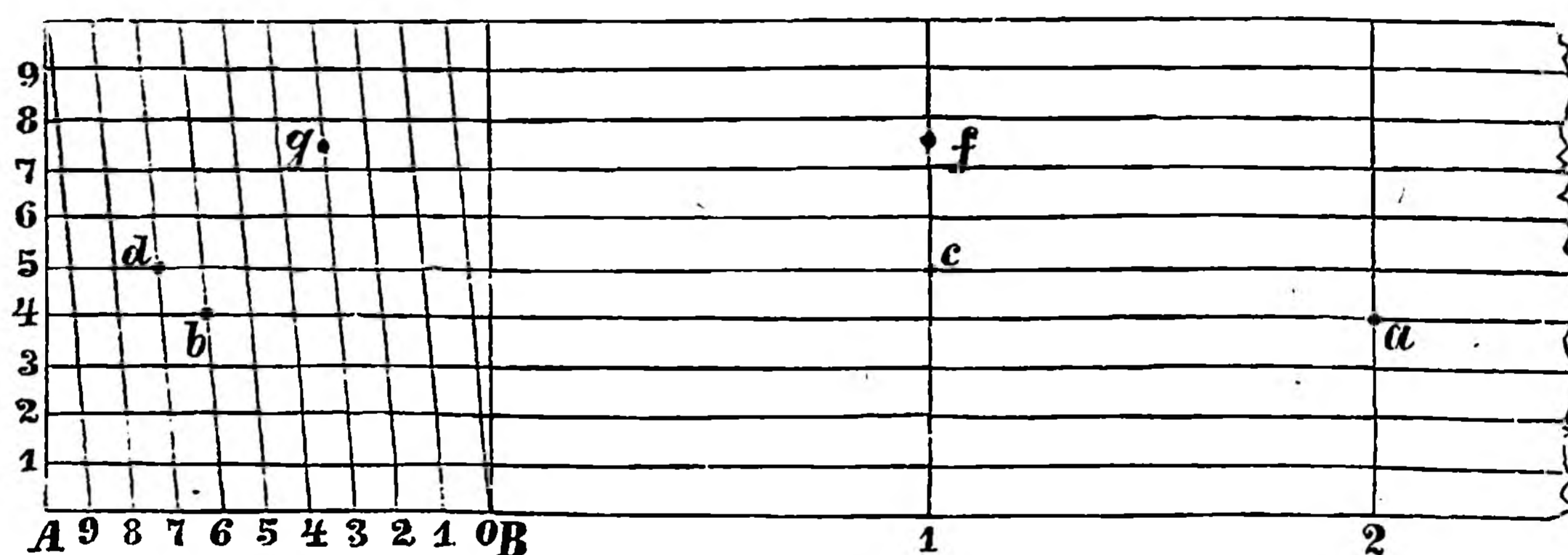
$$op = x' = 2 \frac{\delta}{\alpha\beta}$$

$$qr = x'' = 3 \frac{\delta}{\alpha\beta}$$

.....

Вслѣдствіе чего, если напр.  $\delta = 100$  саж.,  $\alpha = 10$  и  $\beta = 10$ , какъ это сдѣлано на черт. 111, то  $x = \frac{100^c}{10 \times 10} = 1^c$ ,  $x' = 2^c$ ,  $x'' = 3^c$  и т. д. Если

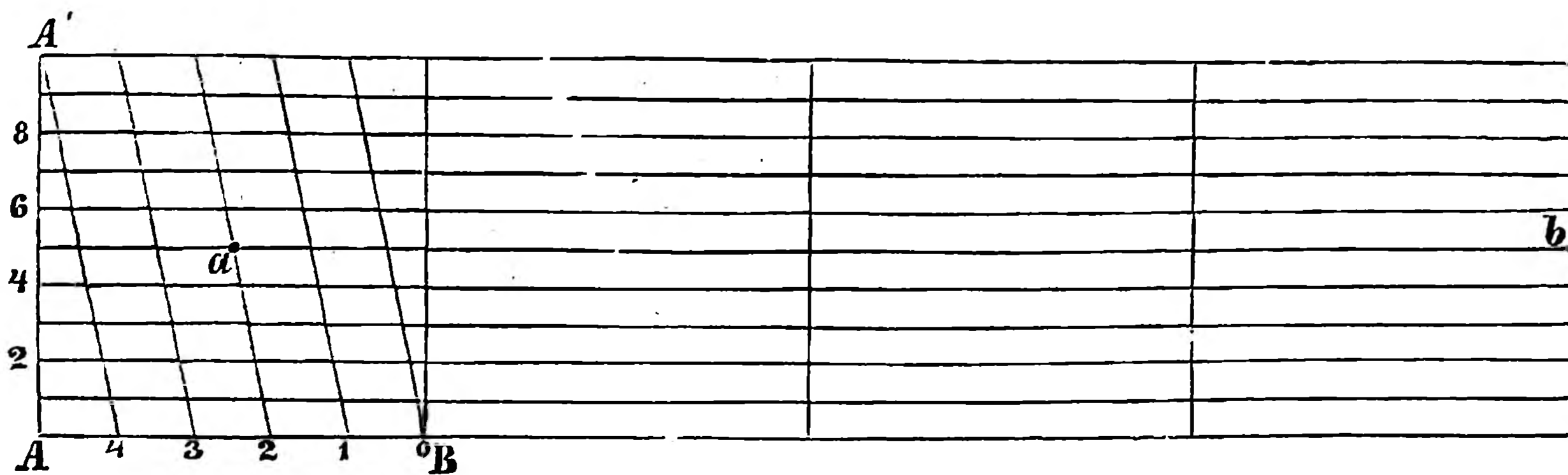
Черт. 111.



(черт. 112)  $\delta = 50^c$ ,  $\alpha = 5$  и  $\beta = 10$ , то  $x = 1^c$ ,  $x' = 2^c$ ,  $x'' = 3^c$  и т. д. Если  $\delta = 25^c$ ,  $m = 5$  и  $n = 10$ , то  $x = 0,5^c$ ,  $x' = 1^c$ ,  $x'' = 1,5^c$ ....

Чтобы при помощи масштаба черт. 111 взять въ циркуль длины 264 саж. и 175 саж., ставятъ ножки циркуля соотвѣтственно на точки  $a$  и  $b$ ,  $c$  и  $d$ ; на томъ же чертежѣ между точками  $f$  и  $g$  заключается

Черт. 112.

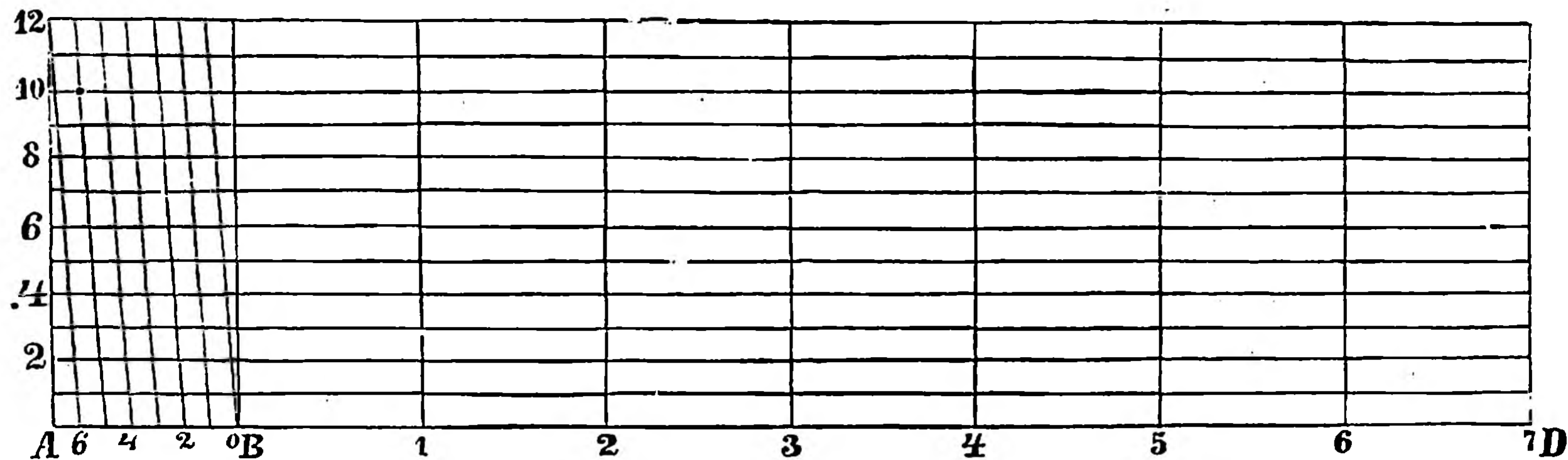


137,5 саж. На черт. 112 съ основаніемъ въ 50 саж. между точками  $a$  и  $b$  заключается 165 саж. При измѣреніи линій плана по поперечному масштабу берутъ въ циркуль длину линіи плана и переставляютъ его на масштабѣ такъ, чтобы раствореніе между ножками было параллельно

нижней линіи масштаба. Отсчетъ по масштабу выразить длину линіи въ извѣстномъ уменьшеніи.

По черт. 113, на которомъ полдюйма принято за 1 саж., можно брать отдѣльные футы и дюймы.

Черт. 113.



§ 84. Для того чтобы знать, во сколько разъ линія плана менѣе соотвѣтственной линіи мѣстности, то-есть для опредѣленія *численнаго* масштаба, нужно знать дѣйствительную длину основанія линейнаго масштаба. Обыкновенно для простоты принимаютъ за основаніе масштаба не произвольную длину, а какую нибудь опредѣленную часть той единицы мѣры протяженія, которою измѣряются линіи на мѣстности. Такъ какъ у насъ единицею для измѣренія линій на мѣстности служитъ сажень, то за основаніе масштаба принимаютъ какую нибудь ея долю, напр. 0,01 долю сажени, вершокъ или же, въ большинствѣ случаевъ, одинъ дюймъ составляющій, какъ извѣстно,  $\frac{1}{84}$  долю сажени. Имѣя дѣйствительную длину основанія линейнаго масштаба, можно опредѣлить соотвѣтственный численный масштабъ. Въ самомъ дѣлѣ, если основаніемъ масштаба служитъ 1 англ. дюймъ, которому на мѣстности соотвѣтствуетъ 100 сажень или, все равно, 8400 дюймовъ, то каждая линія плана уменьшена противъ соотвѣтственной линіи мѣстности въ 8400 разъ. А такъ какъ, согласно сдѣланнаго опредѣленія, численный масштабъ есть отношеніе длины линіи плана къ длинѣ соотвѣтственной линіи мѣстности, то численный масштабъ въ настоящемъ случаѣ будетъ  $\frac{1}{8400}$ .

Подобнымъ же образомъ, если одному англ. дюйму соотвѣтствуетъ на мѣстности 50 саж., то численный масштабъ будетъ  $\frac{1}{50 \times 84} = \frac{1}{4200}$ ; если дюйму соотвѣтствуетъ на мѣстности 25 саж., то численный масштабъ будетъ  $\frac{1}{25 \times 84} = \frac{1}{2100}$ . Слѣдоват., для опредѣленія *численнаго* масштаба, соотвѣтствующаго данному линейному, нужно число сажень, принятое въ дюймъ, какъ основаніи масштаба, умножить на 84 и это произведеніе сдѣлать знаменателемъ дроби, числитель которой есть единица.

Если основаніемъ линейнаго масштаба служитъ сотая доля сажени или вершокъ, то въ первомъ случаѣ для опредѣленія численнаго масштаба слѣдуетъ число сажень, принятое въ основаніи масштаба, обратить въ сотыя доли сажени, а во второмъ случаѣ — число сажень обра-

титъ въ вершки. Напр., если сотой доли сажени соотвѣтствуетъ на мѣстности 50 саж., то численный масштабъ будетъ  $\frac{1}{50 \times 100} = 0,0002$ ; если вершокъ принять за 50 саж., то численный масштабъ будетъ  $\frac{1}{50 \times 48} = \frac{1}{2400}$ .

Имѣя въ предыдущемъ правило для перехода отъ линейнаго масштаба къ численному, можно сейчасъ же выговорить и обратное правило — для перехода отъ численнаго масштаба къ линейному. Дѣйстви-тельно, *чтобы по данному численному масштабу опредѣлить число сажень мѣстности, которое нужно принять въ 1 дюймъ, число, стоящее въ знаменателѣ численнаго масштаба, надо раздѣлить на 84.* Это видно изъ слѣдующаго: если данный численный масштабъ есть  $\frac{1}{16800}$ , то это значить, что соотвѣтствующій линейный масштабъ таковъ, что одному дюйму плана соотвѣтствуетъ на мѣстности 16800 дюймовъ или, все равно,  $16800 : 84 = 200$  саж., а одной сотой доли сажени на планѣ соотвѣтствуетъ 16800 сотыхъ долей на мѣстности или  $16800 : 100 = 168$  саж.

Въ заключеніе сказаннаго о переходѣ отъ линейнаго масштаба къ численному и обратно, приведемъ соотношенія между наиболѣе употребительными линейными и численными масштабами. Принимая

1 д. за 100 саж.	соотвѣтственный числ. масш.	будетъ	$\frac{1}{8400}$
„ „ 50 „ „ „ „ „ „	„ „ „ „ „ „ „ „	„ „ „ „	$\frac{1}{4200}$
„ „ 25 „ „ „ „ „ „	„ „ „ „ „ „ „ „	„ „ „ „	$\frac{1}{2100}$
„ „ 10 „ „ „ „ „ „	„ „ „ „ „ „ „ „	„ „ „ „	$\frac{1}{840}$
„ „ 5 „ „ „ „ „ „	„ „ „ „ „ „ „ „	„ „ „ „	$\frac{1}{420}$
„ „ 200 „ „ „ „ „ „	„ „ „ „ „ „ „ „	„ „ „ „	$\frac{1}{16800}$
„ „ 500 (1 верста)	„ „ „ „ „ „ „ „	„ „ „ „	$\frac{1}{42000}$
„ „ 1000 (2 версты)	„ „ „ „ „ „ „ „	„ „ „ „	$\frac{1}{84000}$

Отсюда видно, что для быстроты перехода отъ линейнаго масштаба къ численному, надо только запомнить, что, принимая 1 дюймъ за 100 саж., соотвѣтственный численный масштабъ есть  $\frac{1}{8400}$ . Тогда, для полученія всякаго другаго численнаго масштаба, надо знаменатель дроби  $\frac{1}{8400}$  уменьшить или увеличить во столько разъ, сколько разъ число сажень, принятое въ одномъ дюймѣ даннаго масштаба, менѣе или болѣе 100 саж.; при переходѣ же къ масштабу линейному, надо число 100 уменьшить или увеличить во столько разъ, сколько знаменатель даннаго численнаго масштаба менѣе или болѣе числа 8400. Кромѣ того, изъ предыдущаго видно, что чѣмъ меньше число сажень принимается въ дюймѣ, тѣмъ менѣе знаменатель дроби численнаго масштаба и, слѣдоват., тѣмъ болѣе сама дробь. Вслѣдствіе этого, говорятъ масштабъ  $\frac{1}{420}$  *крупные* или *болѣе* масштаба  $\frac{1}{840}$  и, наоборотъ, масштабъ  $\frac{1}{840}$  *мельче* или *меньше* масштаба  $\frac{1}{420}$ , — не смотря на то, что наименьшее дѣленіе крупнаго масштаба соотвѣтствуетъ меньшему числу сажень на мѣстности.

§ 85. Обращаясь теперь къ рѣшенію нѣкоторыхъ задачъ, касающихся масштабовъ, укажемъ сначала на то, что наименьшая длина, которую можно свободно еще различать простымъ глазомъ на бумагѣ, есть  $\frac{1}{200}$  доля дюйма. Тѣмъ не менѣе для того, чтобы дѣленія линейнаго масштаба не были слишкомъ мелки, а также для большей простоты построения его, дѣлаютъ наименьшее дѣленіе линейнаго масштаба не менѣе  $\frac{1}{100}$  доли дюйма, разсчитывая на то, что половина сотой доли можетъ быть оцѣнена на глазъ. Такимъ образомъ для масштаба 100 сажень въ англійскомъ дюймѣ  $\frac{1}{100}$  доля дюйма должна представлять наименьшее его дѣленіе, соотвѣтствующее 1 сажени мѣстности, а на глазъ по этому масштабу можно еще оцѣнивать и 0,5 сажени; линіи же мѣстности, длиною менѣе, нежели въ полсажени, на планѣ совсѣмъ не изобразятся; на томъ же основаніи для масштаба 50 саж. въ дюймѣ наименьшая длина мѣстности, различаемая на планѣ простымъ глазомъ, не короче 0,25 сажени.

*Задача 1. Определить въ саженяхъ наименьшую длину  $\rho$  мѣстности, которую можно нанести на планѣ при масштабѣ  $\frac{1}{N}$ . Такъ какъ по условію задачи одному дюйму на планѣ соотвѣтствуютъ  $N$  дюймовъ или  $\frac{N}{84}$  сажень на мѣстности, то  $\frac{1}{200}$  долѣ дюйма на планѣ будетъ соотвѣтствовать линія мѣстности въ  $\frac{N}{84 \times 200}$  сажень, т. е. искомая длина въ саженяхъ будетъ*

$$\rho = \frac{N}{84 \times 200}. \quad (1)$$

На основаніи этой формулы наименьшая длина, которую можно на планѣ различать простымъ глазомъ,

при масштабѣ $\frac{1}{8400}$	есть	0,5	саж.
»	»	$\frac{1}{4200}$	»
»	»	$\frac{1}{2100}$	»

Эти числа суть *точности* предыдущихъ линейныхъ масштабовъ, такъ какъ точностью его называютъ ту наименьшую длину, которую въ данномъ масштабѣ можно свободно различать простымъ глазомъ. Такая наименьшая длина, какъ сейчасъ сказано, есть  $\frac{1}{200}$  доля дюйма.

Въ практикѣ имѣетъ большее значеніе задача обратная предыдущей, такъ какъ она указываетъ на выборъ масштаба, въ которомъ долженъ быть составленъ планъ, если масштабъ заранѣе до съемки не былъ данъ.

*Обратная задача. Въ какомъ масштабѣ долженъ быть составленъ планъ, по которому можно было бы различать линію мѣстности длиною въ  $\rho$  сажень. Здѣсь дано  $\rho$  и ищется  $N$ , знаменатель численнаго масштаба; изъ предыдущей формулы (1) можно написать, что по данному  $\rho$  искомое  $N = 84 \times 200 \times \rho$ .* (2)



*Примѣчаніе.* Если бы  $\rho$  дано было не въ саженьяхъ, а въ другой какой-либо линейной мѣрѣ, то для примѣненія формулы (2) къ рѣшенію задачи необходимо предварительно  $\rho$  превратить въ сажени.

*Примѣры:* 1) Наименьшая длина мѣстности, которую надо различать на планѣ, есть 0,24 вершка; найти масштабъ для составленія плана. Здѣсь  $\rho = 0,24$  вершка  $= \frac{0,24}{48} = 0,005$  саж., а потому искомый масштабъ есть  $\frac{1}{N} = \frac{1}{84 \times 200 \times 0,005} = \frac{1}{84}$ , т. е. дюймъ соотвѣтствуетъ на мѣстности одной сажени.

2) При постройкѣ двухъ домовъ, владѣлецъ втораго дома примыкаетъ свое зданіе къ стѣнѣ перваго съ тѣмъ, что земля подъ общею стѣною, толщиною въ 0,42 фута, на планѣ должна быть показана во владѣніи перваго лица. Спрашивается въ какомъ масштабѣ долженъ быть составленъ общій планъ владѣнія, чтобы стѣна на планѣ представилась двумя параллельными линиями, разстояніе между которыми можно было бы различать простымъ глазомъ? Въ этомъ примѣрѣ наименьшая длина  $\rho = 0,42$  фута  $= \frac{0,42}{7} = 0,06$  сажени; вслѣдствіе чего знаменатель  $N$  численнаго масштаба есть  $0,06 \times 200 \times 84 = 1008$ .

Въ заключеніе нужно сказать, что когда не указанъ масштабъ, въ которомъ долженъ быть составленъ планъ, то выбираютъ этотъ послѣдній такъ, чтобы наименьшая изъ всѣхъ длинъ мѣстности, которыя требуются изобразить на немъ, была бы не менѣе точности масштаба.

*Задача 2.* Построить такой линейный масштабъ, соотвѣтствующій численному  $\frac{1}{N}$ , наименьшее дѣленіе котораго выражало бы  $\rho$  саж. мѣстности. Такъ какъ наименьшее дѣленіе линейнаго масштаба  $= \frac{1}{100}$  доли дюйма должно соотвѣтствовать  $\rho$  саж. мѣстности, то 1 дюймъ на планѣ долженъ соотвѣтствовать  $100\rho$  саж. мѣстности. Съ другой стороны, изъ соотношенія между линейнымъ и численнымъ масштабомъ мы имѣемъ  $\delta = \frac{N}{84}$ . Вслѣдствіе этого, прежде всего надо убѣдиться, возможно ли условіе предложенной задачи, т. е. возможно ли равенство  $100\rho = \frac{N}{84}$  и только послѣ этого приступать къ рѣшенію. Для рѣшенія ея въ общемъ видѣ припомнимъ, что число сажень въ наименьшемъ дѣленіи поперечнаго линейнаго масштаба выражается чрезъ  $x = \frac{\delta}{\alpha\beta}$ ; слѣдовательно  $x = \frac{N}{84\alpha\beta}$ . По условію задачи величина эта должна представлять  $\rho$  саж. мѣстности, такъ что  $\rho = \frac{N}{84\alpha\beta}$ ;

откуда 
$$\alpha\beta = \frac{N}{84\rho}. \quad (3)$$

Числовое значение, найденное по формулѣ (3) для величины  $\frac{N}{84\rho}$ , должно быть всегда цѣлымъ числомъ, и притомъ такимъ, чтобы оно разлагалось на два множителя, удобные для построения масштаба.

Пояснимъ сказанное примѣрами:

1) Построить такой линейный масштабъ, соотвѣтствующій численному  $\frac{1}{8400}$ , наименьшее дѣленіе котораго выражало бы одну сажень мѣстности.

Провѣряемъ условіе предложенной задачи:  $\rho = 1$  саж. и  $N = 8400$ , а потому должно существовать равенство  $100.1 = \frac{8400}{84} = 100$ . Рѣшеніе возможно. По формулѣ (3) находимъ

$$\alpha\beta = \frac{8400}{84} = 100.$$

Этому можно удовлетворить при

$$\begin{aligned} \alpha &= 20 \text{ и } \beta = 5 \\ \alpha &= 25 \text{ и } \beta = 4 \\ \alpha &= 50 \text{ и } \beta = 2 \\ \alpha &= 10 \text{ и } \beta = 10 \\ &\dots\dots\dots \\ &\dots\dots\dots \end{aligned}$$

Четвертое допущеніе наиболѣе выгодно и удобно для построения линейнаго масштаба. Построивъ при этихъ данныхъ масштабъ, получимъ чертежъ 111, по которому можно различать и длины мѣстности, разнящіяся между собою на полсажени, т.-е. на величину, вдвое меньшую противъ числа сажень наименьшаго дѣленія масштаба. Построенный такимъ образомъ *сотенный* масштабъ удобно употреблять не только въ томъ случаѣ, когда дюймъ принимается за 100 саж., но и тогда, когда онъ соотвѣтствуетъ 1, 10, 1000 и т. п. сажень.

2) Построить при тѣхъ же условіяхъ линейный масштабъ, соотвѣтствующій численному  $\frac{1}{4200}$ .

Сперва опредѣлимъ, какою долею дюйма должно выразиться наименьшее дѣленіе линейнаго масштаба, чтобы предложенная задача была возможна. Для этого равенство  $100\rho = \frac{N}{84}$  напишемъ въ видѣ  $k\rho = \frac{N}{84}$  и изъ него найдемъ

$$k = \frac{N}{84\rho} = \alpha\beta; \quad (4)$$

при этомъ  $k$  должно быть цѣлымъ числомъ.

Переходя къ нашему примѣру, видимъ, что  $k = 50$ , т.е. за наименьшее дѣленіе линейнаго масштаба должна быть принята  $\frac{1}{30}$  доля дюйма. По формулѣ (4) (или (3)) находимъ, что  $\alpha\beta = 50$ . Наиболѣе выгодное и удобное построение будетъ при  $\alpha = 5$  и  $\beta = 10$ , т. е. дюймъ надо дѣлить на 5 частей, а на перпендикулярѣ, возставленномъ въ началѣ его, откладывать 10 частей. Такой масштабъ, изображенный на

черт. 112, называется *пятидесятеннымъ*, потому что наименьшее его дѣленіе есть  $\frac{1}{50}$  доля дюйма. Такъ какъ при этомъ  $\frac{1}{200}$  доля дюйма будетъ соотвѣтствовать  $\frac{1}{4}$  сажени, то на планъ возможно нанести и такія длины: 57,25; 243,50; 184,75 . . . .; при чемъ промежутки между горизонтальными параллельными линиями масштаба нужно дѣлить на глазъ на 4 части. Масштабъ пятидесятенный употребляется и въ тѣхъ случаяхъ, когда дюйму соотвѣтствуетъ 5, 25, 250, 500 . . . сажень.

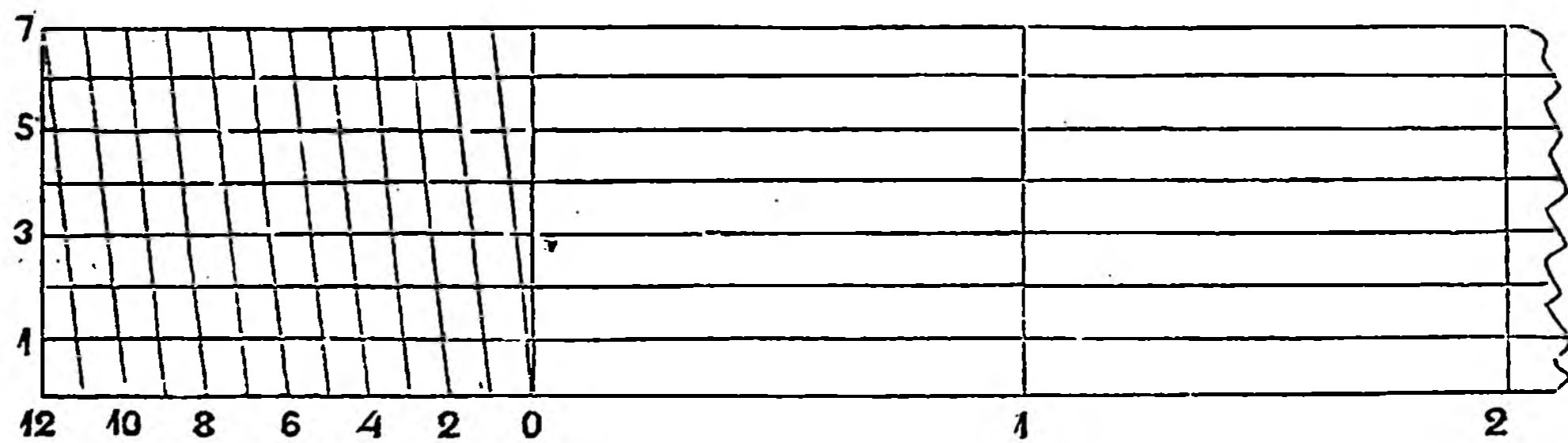
3) Построить линейный масштабъ, соотвѣтствующій численному  $\frac{1}{840}$ , по которому можно было бы брать отдѣльные дюймы.

Примѣняемъ условіе  $100\rho = \frac{N}{84}$ ; при чемъ, такъ какъ  $\rho$  дано въ дюймахъ, то превращенное въ сажени оно будетъ:  $\rho = \frac{1}{84}$ . Подставляя это въ предыдущее равенство, находимъ  $100 \cdot \frac{1}{84} = 100$ , что невозможно. Изъ равенства (4) получаемъ  $k = \frac{840}{84 \cdot \frac{1}{84}} = 840$ , т. е. за наименьшее дѣленіе масштаба должна быть принята  $\frac{1}{840}$  доля дюйма, что менѣе  $\frac{1}{200}$ ; слѣдовательно такой масштабъ не можетъ быть построенъ.

4) Построить такой масштабъ, соотвѣтствующій численному  $\frac{1}{1008}$ , по которому можно было бы брать отдѣльные футы.

Обращаемся къ равенству (4) и изъ него находимъ  $k = \frac{1008}{84 \cdot \frac{1}{7}} = 84$ , т. е. задача можетъ быть выполнена, если за наименьшее дѣленіе линейнаго масштаба примемъ  $\frac{1}{84}$  долю дюйма, иначе когда  $\alpha\beta = k = 84$ .

Черт. 114.



Если сдѣлаемъ  $\alpha = 12$  и  $\beta = 7$ , то получимъ масштабъ, изображенный на черт. 114, въ которомъ дюймъ раздѣленъ на 12 частей; изъ нихъ каждая соотвѣтствуетъ одной сажени мѣстности, а наименьшее дѣленіе соотвѣтствуетъ одному футу.

*Задача 3. Построить линейный масштабъ, соотвѣтствующій данному численному  $\frac{1}{N}$ .* Если  $N$  есть число кратное отъ 84, то задача рѣшается непосредственно. Затрудненіе можетъ быть тогда, когда  $N$  не дѣлится безъ остатка на 84; положимъ, что  $\frac{N}{84} = k + \frac{a}{b}$ , гдѣ  $k$  есть цѣлое число, а  $\frac{a}{b}$  есть дробь, меньшая единицы; напр. если  $N = 1500$ , то  $\frac{N}{84} = 17\frac{18}{21}$ . Такъ какъ основаніе масштаба должно быть равно 1 дюйму, то очевидно, на сколько бы частей мы ни дѣлили дюймъ, доли его будутъ выражать

дробное число сажень. Вслѣдствіе этого за основаніе линейнаго масштаба принимается въ этомъ случаѣ не дюймъ, а такая длина  $x$ , которая при данномъ уменьшеніи выражала бы *цѣлое* число сажень, близкое къ  $k + \frac{a}{b}$  (къ  $17\frac{18}{21}$ ) и удобное для построения масштаба. Обозначимъ цѣлое число, соотвѣтствующее искомому  $x$ , чрезъ  $m$ . Тогда  $x$  опредѣлится изъ пропорціи:  $m : (k + \frac{a}{b}) = x : 1$  или  $m : \frac{N}{84} = x : 1$ ;

откуда 
$$x = \frac{m \times 84}{N}. \quad (5)$$

Положивъ для частнаго случая  $N = 1500$  и вычисливъ  $\frac{N}{84} = 17\frac{18}{21}$ , можемъ принять  $m = 25$  саж.; тогда найдемъ  $x = \frac{25 \cdot 84}{1500} = 1,400$  дюйма.

А потому, взявъ за основаніе линейнаго масштаба длину  $x$  (т. е. 1,400 дюйма) и принявъ ее за  $m$  сажень (25 саж.), построимъ на ней масштабъ съ даннымъ уменьшеніемъ.

Возьмемъ еще примѣръ  $N = 1000$ ; тогда  $\frac{N}{84} = 11\frac{19}{21}$ . Полагаемъ  $m = 20$ , находимъ  $x = \frac{20 \cdot 84}{1000} = 1,68$  дюйма или все равно 168,0 саж. по сотенному масштабу; принявъ эту длину за 20 саж., построимъ масштабъ съ даннымъ уменьшеніемъ  $\frac{1}{1000}$ .

*Задача 4.* Данъ французскій планъ, за основаніе котораго приняты 1 франц. дюймъ, соотвѣтствующій  $n$  тоазамъ на мѣстности. Желательно измѣрить по этому плану разстояніе въ саженяхъ, не употребляя при этомъ таблицы сравненія мѣръ. Известно, что 1 тоазъ содержитъ 6 франц. футовъ, а футъ — 12 дюймовъ; поэтому 1 франц. дюймъ =  $\frac{1}{72}$  тоаза. Зная это, найдемъ численный масштабъ  $\frac{1}{72n}$ . Очевидно, что дальнѣйшій ходъ рѣшенія сводится къ предыдущей задачѣ. Въ самомъ дѣлѣ, построимъ теперь такой линейный масштабъ, имѣющій то же уменьшеніе, по которому можно опредѣлять разстоянія въ саженяхъ; для чего, раздѣливъ  $72n$  на 84, получимъ  $\frac{72}{84}n = \frac{6}{7}n$ ; если  $\frac{6}{7}n$  есть цѣлое число, то задача рѣшается легко. Въ противномъ же случаѣ составляемъ согласно рѣшенію предыдущей задачи пропорцію  $m : \frac{6}{7}n = x : 1$ . Отсюда  $x = \frac{7m}{6n}$ . Если напр.  $n = 1000$  и  $m = 500$ , то  $\frac{6}{7}n = 857\frac{1}{7}$  саж. и  $x = 0,583$  дюйма или 58,3 саж. по сотенному масштабу.

Изъ хода рѣшенія этой задачи видно, что если на иностранной картѣ или планѣ имѣется *только* линейный масштабъ, основаніемъ котораго служитъ длина, составляющая опредѣленную долю отъ единицы мѣры, употребляемой при измѣреніяхъ на мѣстности, и если желательно получить по этой картѣ разстоянія въ русскихъ мѣрахъ, то прежде всего

надо опредѣлить численный масштабъ, а затѣмъ построить линейный масштабъ для русскихъ мѣръ.

*Примѣчаніе 1.* При рѣшеніи такихъ задачъ необходимо знать: въ *Пруссіи* прежде употреблялся рутень = 12 футамъ, футъ = 12 дюймамъ и дюймъ = 12 линіямъ; въ *Австріи* прежде употреблялся клафтеръ = 6 футамъ, футъ = 12 дюймамъ и дюймъ = 12 линіямъ; во *Франціи* прежде употреблялся тоазъ = 6 футамъ, футъ = 12 дюймамъ и дюймъ = 12 линіямъ. Въ настоящее время въ этихъ государствахъ принята метрическая система мѣръ, а въ *Англии* употребляется ярдъ = 3 футамъ, футъ = 12 дюймамъ и дюймъ = 10 линіямъ.

*Примѣчаніе 2.* Если при предыдущей задачѣ неизвѣстенъ масштабъ ни линейный, ни численный, то для рѣшенія ея надо измѣрить на планѣ въ какихъ нибудь единицахъ разстояніе между двумя пунктами и въ тѣхъ же единицахъ измѣрить то же разстояніе на мѣстности. Отношеніе перваго числа ко второму дастъ численный масштабъ, отъ котораго можно уже перейти къ искомому поперечному. Напр., если разстояніе между двумя точками на планѣ = 0,8 англ. дюйма, а разстояніе между тѣми же точками на мѣстности = 142 саж. =  $142 \times 84$  англ. дюймамъ, то численный масштабъ иностраннаго плана есть  $\frac{0,8}{142 \times 84} = \frac{0,8}{11928} = \frac{1}{14910}$ .

Иногда при нанесеніи или измѣреніи линій на планѣ, а также при нанесеніи или вычисленіи площадей фигуръ по плану не имѣется подъ руками масштаба съ требуемымъ уменьшеніемъ, а имѣется другой. Тогда для рѣшенія вопроса посредствомъ этого послѣдняго масштаба дѣлается такъ называемый *переходъ масштабовъ*. Приступая къ задачамъ, касающимся этого перехода, покажемъ: во 1) что *длины одной и той же линіи, полученныя по плану въ различныхъ масштабахъ, прямо пропорціональны знаменателямъ соответственныхъ численныхъ масштабовъ* и во 2) что *площади одной и той же фигуры, измѣренныя по плану въ различныхъ масштабахъ, прямо пропорціональны квадратамъ знаменателей соответственныхъ численныхъ масштабовъ*. Въ самомъ дѣлѣ, если дѣйствительная (натуральная) длина какой нибудь линіи есть  $A$ , то длины той же линіи, измѣренныя по плану въ масштабахъ  $\frac{1}{m}$  и  $\frac{1}{m'}$ , согласно опредѣленія численнаго масштаба, будутъ:

$$a = Am \text{ и } a' = Am';$$

откуда

$$\frac{a}{a'} = \frac{m}{m'},$$

что и доказываетъ первое положеніе. Припомнивъ теперь, что *площади подобныхъ фигуръ относятся между собою какъ квадраты сходствен-*

ныхъ сторонъ и понимая подъ  $a$  и  $a'$  сходственные стороны, а подъ  $P$  и  $P'$  — площади подобныхъ фигуръ, имѣемъ

$$P : P' = a^2 : a'^2.$$

Очевидно, что та же самая пропорція существуетъ и въ томъ случаѣ, когда будемъ имѣть вмѣсто двухъ фигуръ одну, произвольная сторона которой измѣрена сначала въ масштабѣ  $\frac{1}{m}$ , а потомъ въ масштабѣ  $\frac{1}{m'}$ . Въ этомъ случаѣ  $a$  и  $a'$  будутъ имѣть прежнее значеніе и мы получимъ

$$a : a' = m : m';$$

а потому

$$P : P' = m^2 : m'^2.$$

Обратимся къ числовымъ примѣрамъ:

1) Линію длиною въ 300 саж. требуется нанести на планъ принимая англ. дюймъ за 70 саж., а подъ-руками имѣется только сотенный масштабъ. Такъ какъ масштабамъ 70 и 100 саж. въ дюймѣ соотвѣтствуютъ численные масштабы  $\frac{1}{5880}$  и  $\frac{1}{8400}$ , то пишемъ пропорцію:

$$a : 300 = 8400 : 5880;$$

откуда

$$a = 300 \times \frac{8400}{5880} = 300 \times \frac{10}{7} = 428\frac{4}{7} \text{ саж.}$$

И такъ, длина въ  $428\frac{4}{7}$  саж., взятая по сотенному масштабѣ, равна длинѣ въ 300 саж. по масштабѣ  $\frac{1}{5880}$ .

2) На планѣ измѣрена площадь нѣкоторой фигуры по масштабѣ 100 саж. въ дюймѣ ( $\frac{1}{8400}$ ) и оказалась равною 101 дес. 720 саж. Спрашивается какъ велика та же площадь при масштабѣ 50 саж. въ дюймѣ ( $\frac{1}{4200}$ )? Составляемъ пропорцію

$$P : 101^{\text{д}} \cdot 720^{\text{с}} = 4200^2 : 8400^2;$$

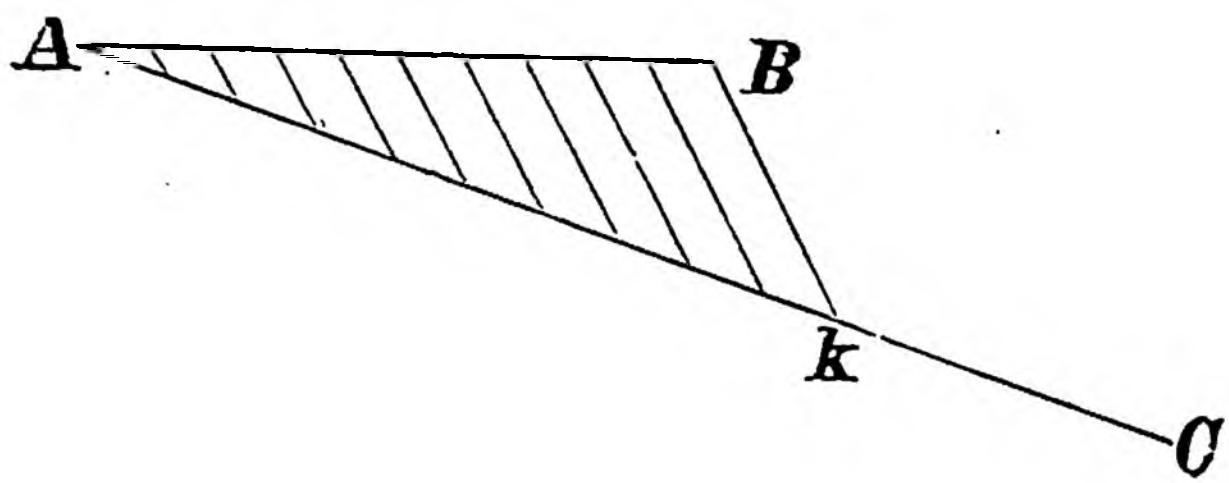
откуда

$$P = 101^{\text{д}} \cdot 720^{\text{с}} \times \left(\frac{4200}{8400}\right)^2 = 101^{\text{д}} \cdot 720^{\text{с}} \times \frac{1}{4} = 25^{\text{д}} \cdot 780^{\text{с}}.$$

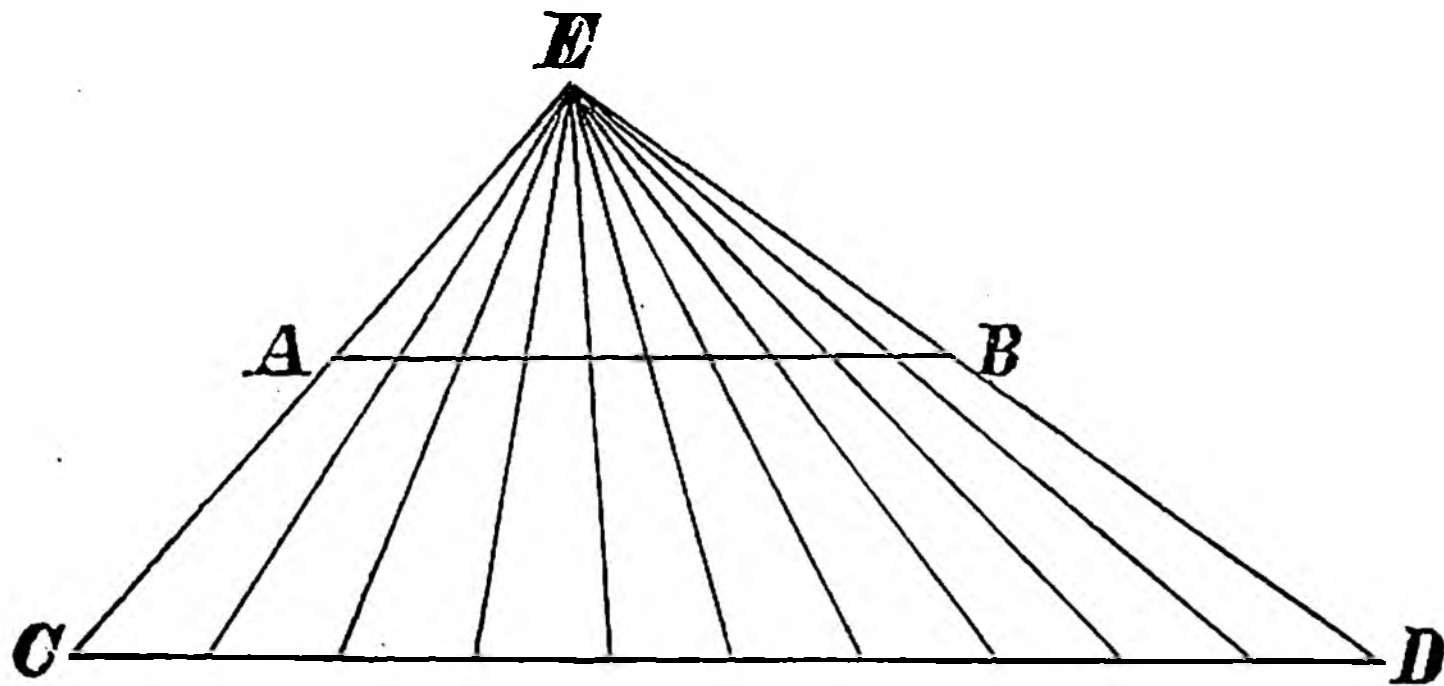
§ 86. Для дѣленія основанія масштаба на равныя между собою части обыкновенно употребляется слѣдующій способъ. Положимъ, надо раздѣлить линію  $AB$  (черт. 115) на 10 частей; тогда проводятъ чрезъ  $A$  подъ острымъ угломъ линію  $AC$ , на которой откладываютъ 10 произвольныхъ, но равныхъ между собою частей. Затѣмъ соединяютъ послѣднюю точку  $k$  съ  $B$  и проводятъ чрезъ остальные точки линіи, параллельныя съ  $Bk$ . Ясно, что чрезъ это линія  $AB$  раздѣлится также на 10 равныхъ частей. Недостатокъ этого способа очевидно состоитъ въ томъ, что неизбежныя погрѣшности отложенія на  $AC$  равныхъ частей войдутъ почти цѣликомъ и въ тѣ части, на которыя раздѣлится  $AB$ ,

ибо части линии  $AC$  не могут быть значительно больше частей линии  $AB$ ; въ противномъ случаѣ, пересѣченіе линии  $AB$  съ линиями, параллельными  $Bk$ , произойдетъ подъ очень острыми углами и точки пересѣченія этихъ линій не будутъ видны съ надлежащею отчетливостію.

Черт. 115.



Черт. 116.



Вслѣдствіе этого въ нижеслѣдующемъ приводимъ другой способъ дѣленія линіи на равныя части, указанный академикомъ *М. В. Остроградскимъ*<sup>1)</sup> и уменьшающій въ значительной степени предыдущій недостатокъ. Если  $AB$  (черт. 116) есть линія, подлежащая раздѣленію на равныя части, то на нѣкоторомъ отъ нея разстояніи проводится другая параллельная съ нею линія  $CD$ . На этой послѣдней откладываются произвольныя, но равныя между собою части, число которыхъ должно равняться числу частей, на которыя требуется раздѣлить линію  $AB$ . Крайнія точки  $C$  и  $D$  соединяются соотвѣтственно съ  $A$  и  $B$  прямыми линіями, которыя продолжаютъ до пересѣченія ихъ въ  $E$ . Наконецъ, соединяя  $E$  съ точками, намѣченными на  $CD$ , линія  $AB$  раздѣлится на требуемое число равныхъ частей. Изъ этого построенія видно, что части линіи  $CD$  могутъ быть гораздо больше, чѣмъ въ предыдущемъ способѣ; а потому и неизбѣжныя погрѣшности отложенія частей по  $CD$  уменьшаются при этомъ сильнѣе.

§ 87. Правильность построенія масштаба повѣряется слѣдующимъ образомъ: поставя одну ножку циркуля въ  $A$  (черт. 110), отодвигаютъ другую ножку настолько, чтобы она встала въ  $B$ ; затѣмъ, оставивъ вторую ножку въ  $B$ , поворачиваютъ около нея циркуль и смотрятъ совпадаетъ ли конецъ первой ножки съ точкою  $C$  и т. д. Повѣривъ дѣленія  $AB$ ,  $BC$ , . . . . дѣлаютъ ту же самую повѣрку и относительно верхнихъ дѣленій. Для повѣрки мелкихъ дѣленій линіи  $AB$  ставятъ одну ножку циркуля въ  $A$ , а другую напр. въ  $e$ , поворачиваютъ циркуль около  $e$  и смотрятъ, совпадаетъ ли первая ножка съ  $f$ ; поворачиваютъ около  $f$  и смотрятъ, совпадаетъ ли первая ножка съ  $i$ . Затѣмъ, сдѣлавъ раствореніе ножекъ равнымъ двумъ дѣленіямъ линіи  $AB$ , производятъ ту же повѣрку.

Такимъ же путемъ изслѣдуется и вѣрность мелкихъ дѣленій на линіи  $A'N$ . Чтобы не оставить какого-либо дѣленія непровѣреннымъ, надо записывать, на какія именно точки ставились ножки циркуля.

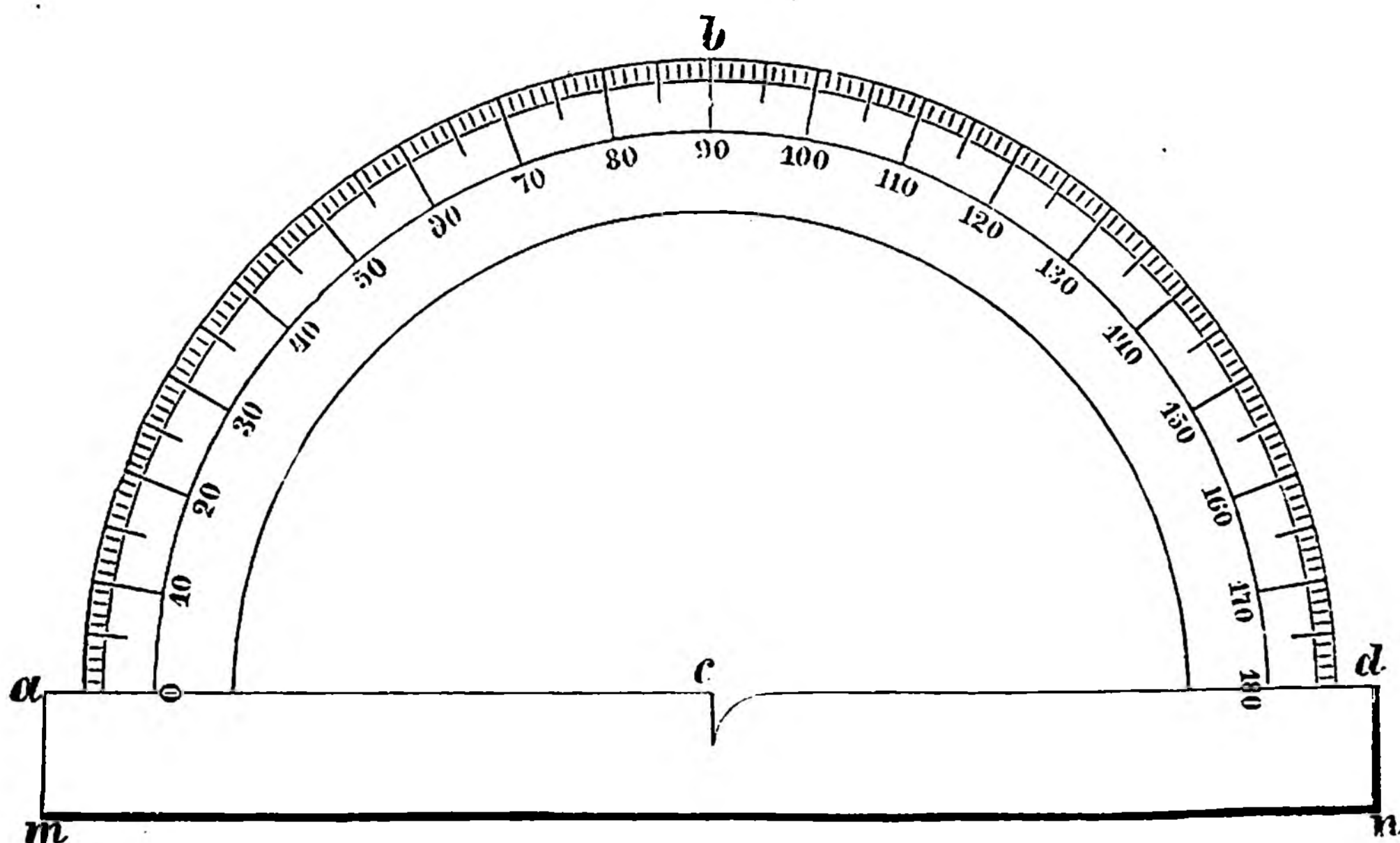
<sup>1)</sup> *М. В. Остроградскій*, русскій математикъ, род. въ 1801 г. въ Кобелякскомъ уѣздѣ Полтавской губ., ум. въ 1861 г. въ Петербургѣ.

## d) Транспортиры.

§ 88. *Транспортиръ*<sup>1)</sup> есть снарядъ, служащій для измѣренія и нанесенія на планъ угловъ. Изъ всѣхъ разнообразныхъ системъ займемся разсмотрѣнiемъ транспортира *простаго* и транспортира *съ алидадою и верньеромъ*.

Транспортиръ простой состоитъ изъ металлическаго полукруга  $abd$  (черт. 117), раздѣленнаго на градусы, а иногда и на полуградусы и составляющаго одно цѣлое съ линейкою, ребра которой  $ad$  и  $mn$  между собою параллельны. Ребро  $ad$  совмѣщается съ діаметромъ полукруга,

Черт. 117.



проходящимъ чрезъ  $0^\circ$  и  $180^\circ$ ; на немъ посредствомъ вырѣза или штриха обозначенъ центръ  $c$  полукруга. Градусная подпись располагается или какъ показано на чертежѣ, отъ  $0^\circ$  до  $180^\circ$ , или же у средняго штриха полукруга ставится  $90^\circ$ , а въ обѣ стороны отъ него подписи штриховъ идутъ убывая отъ  $90^\circ$  до  $0^\circ$ . Первый способъ подписыванія штриховъ употребляется при тѣхъ транспортирахъ, которые служатъ для измѣренія и нанесенія угловъ между пересѣкающимися на планѣ линиями, а второй для нанесенія на планъ линій подъ даннымъ румбомъ и измѣренія на планѣ румбовъ линій.

Повѣрки простаго транспортира суть: 1) *дѣленія должны быть вѣрны*. Въ этомъ убѣждаются простымъ циркулемъ, поставивъ одну его ножку на  $0^\circ$ , а другую на  $20^\circ$ ; затѣмъ, оставляя вторую ножку на мѣстѣ, поворачиваютъ циркуль впередъ по дугѣ и смотрятъ, совмѣстится ли первая ножка съ  $40^\circ$ ; продолжая такимъ образомъ далѣе, обходятъ всю полуокружность. Послѣ этого, сдѣлавъ раствореніе ножекъ въ  $10^\circ$ , снова обходятъ всю полуокружность; при чемъ ножки ставятъ послѣдовательно на  $0^\circ$  и  $10^\circ$ ,  $10^\circ$  и  $20^\circ$ ,  $20^\circ$  и  $30^\circ$ , . . . . Наконецъ, вѣрность промежуточныхъ штриховъ провѣряется раствореніемъ въ  $2^\circ$  и  $3^\circ$ . Здѣсь, такъ же какъ и при повѣркѣ дѣленій масштаба, слѣдуетъ записывать мѣста,

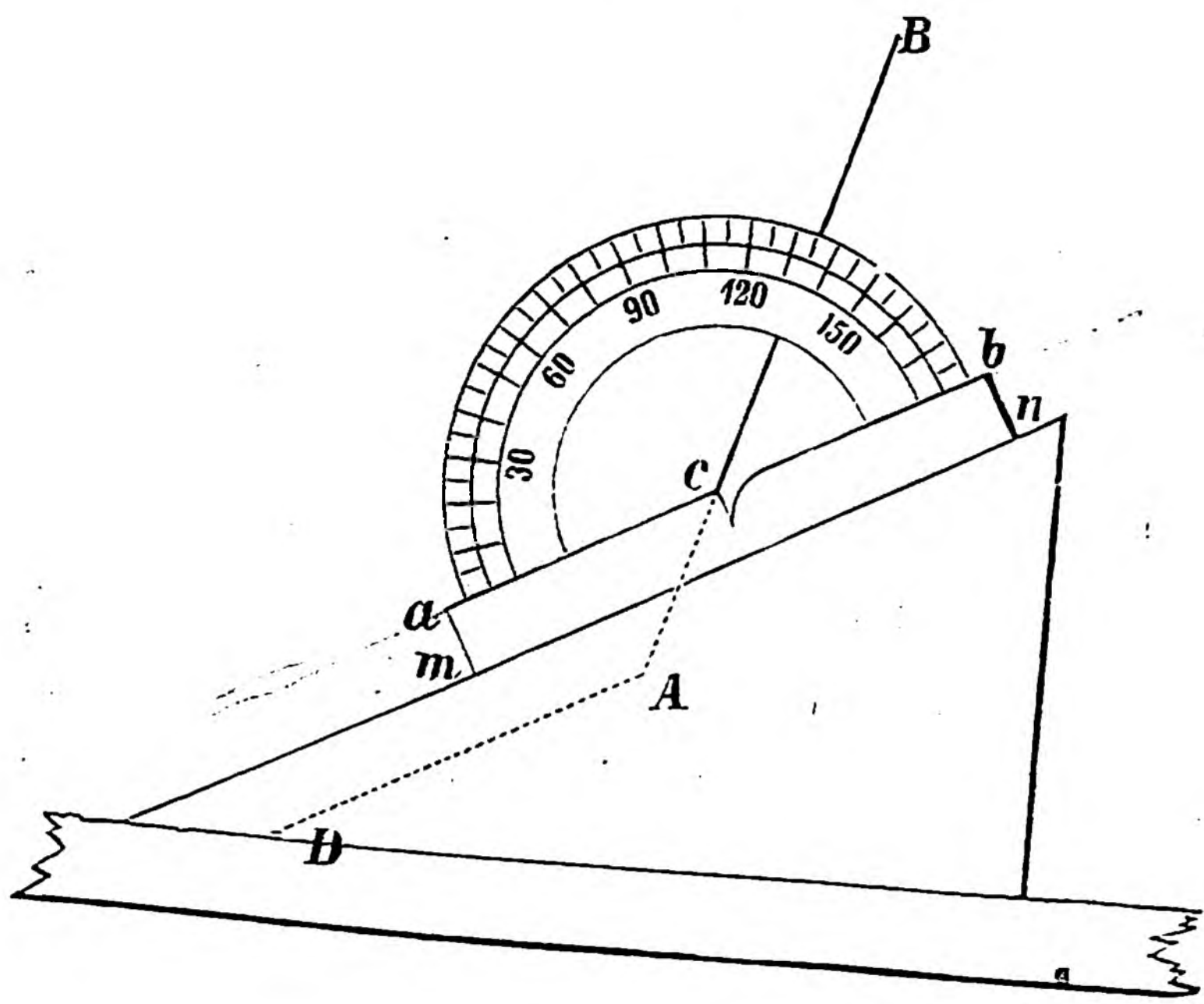
1) Французское слово *transporteur* происходитъ отъ латин. слова *transportare* — переносить.



на которыя ставились ножки циркуля. Если при повѣркѣ окажутся не-  
вѣрности, то нужно при употребленіи транспортира эти мѣста избѣгать,  
а еще лучше совсѣмъ перемѣнить транспортиръ. 2) *Діаметръ, прохо-  
дящій чрезъ  $0^\circ$  и  $180^\circ$  (или чрезъ нули градусовъ), долженъ быть парал-  
леленъ наружному ребру *mn* линейки транспортира.* Прочерчиваютъ  
на бумагѣ прямую линію, къ которой прикладываютъ транспортиръ  
діаметромъ  $0^\circ$  и  $180^\circ$ , а къ ребру его *mn* прикладываютъ треугольникъ  
съ линейкою. Потомъ, отнявъ транспортиръ, передвигаютъ треугольникъ  
по линейкѣ и замѣчаютъ, можно ли привести его ребро въ совмѣщеніе  
съ прочерченною линіею. Если да, то условіе выполнено, въ противномъ  
случаѣ транспортиръ долженъ быть исправленъ механикомъ. 3) *Дуга  
транспортира должна быть дѣйствительно полуокружностью и поло-  
женіе намѣченнаго центра должно быть вѣрно.* Это повѣряется такъ:  
кладутъ транспортиръ на бумагу и очерчиваютъ карандашомъ наружную  
полуокружность, а также замѣчаютъ и мѣсто точки *c*. Затѣмъ, снявъ  
транспортиръ, убѣждаются посредствомъ циркуля въ томъ, что раз-  
стоянія отъ мѣста точки *c* до прочерченной полуокружности повсюду  
одинаковы.

§ 89. Построеніе на бумагѣ простымъ транспортиромъ угла произ-

Черт. 118.



водится при помощи линейки и  
треугольника. Если на линіи *AB*  
(черт. 118) при точкѣ *A* слѣдуетъ  
построить уголъ напр. въ  $136^\circ$ ,  
то кладутъ транспортиръ такъ,  
чтобы центръ его и штрихъ, со-  
отвѣтствующій  $136^\circ$ , находились  
на *AB*; затѣмъ къ ребру *mn*  
транспортира придвигаютъ тре-  
угольникъ, а къ этому послѣд-  
нему — линейку; отодвинувъ тран-  
спортиръ, двигаютъ треугольникъ  
вдоль линейки до тѣхъ поръ, пока  
ребро его, прикасавшееся къ *mn*,

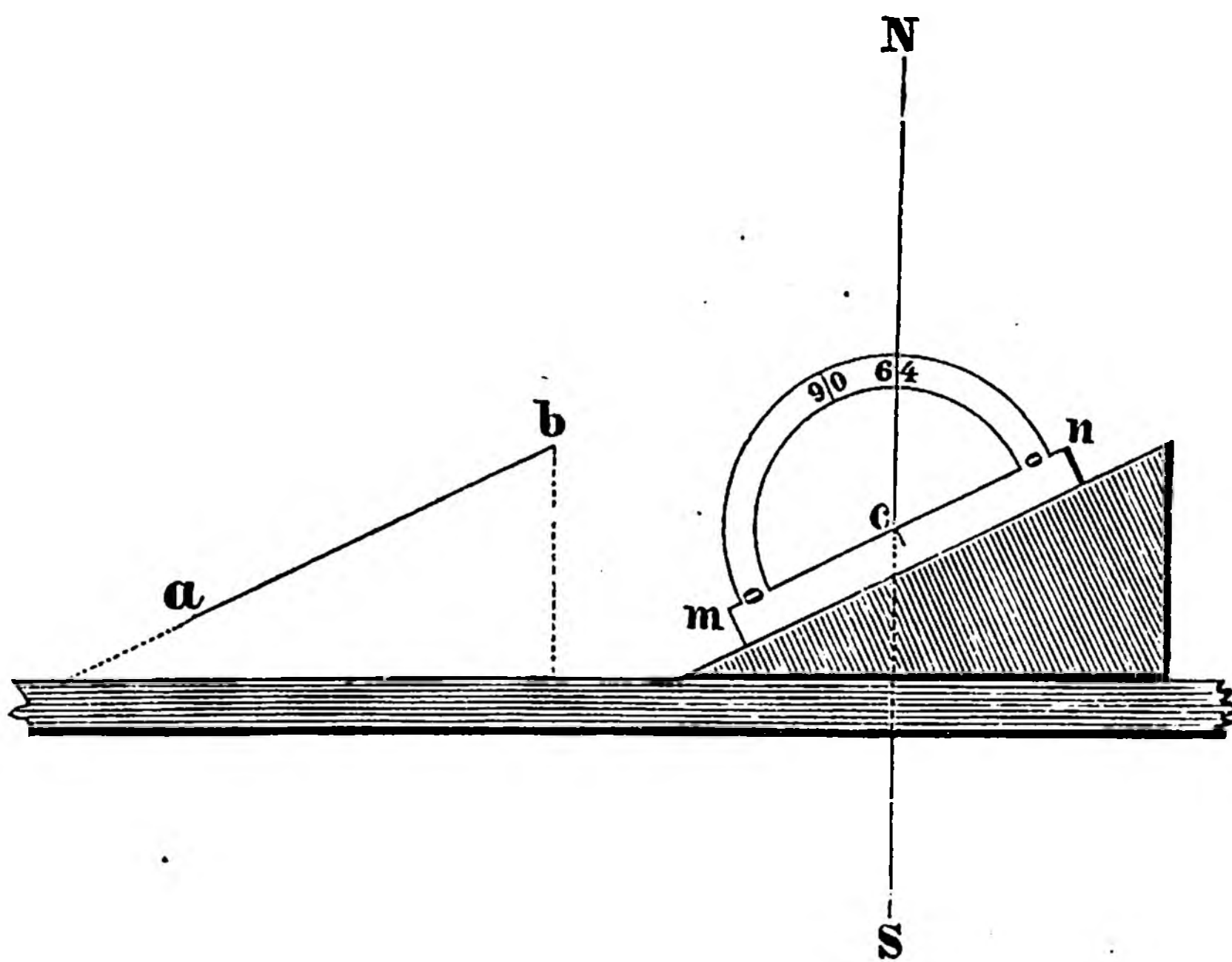
пройдетъ чрезъ точку *A*. Остается по этому ребру прочертить линію.  
Понятно, что уголъ *DAB* будетъ требуемый.

Дѣйствиемъ, обратнымъ съ сейчасъ изложеннымъ, можно опредѣлить  
градусную величину угла, начерченнаго на бумагѣ. Дѣйствительно,  
чтобы опредѣлить градусную величину угла *DAB*, прикладываютъ тре-  
угольникъ однимъ изъ реберъ къ линіи *DA*, къ треугольнику прикла-  
дываютъ съ одной стороны транспортиръ, а съ другой — линейку. По-  
двигаютъ транспортиръ вмѣстѣ съ треугольникомъ по линейкѣ до тѣхъ  
поръ, пока центръ транспортира будетъ находиться на линіи *AB*, тогда  
отсчетъ по транспортиру выразитъ градусную величину угла *DAB*.

Проведеніе на бумагѣ простымъ транспортиромъ линій подъ даннымъ  
азимутомъ, а также и опредѣленіе азимутовъ данныхъ линій, начерчен-

ныхъ на бумагѣ, сводится къ проведенію линій подѣ даннымъ румбомъ и къ опредѣленію румбовъ данныхъ линій, потому что каждый азимуть можетъ быть, какъ извѣстно, перечисленъ на румбъ. При построении же линій подѣ даннымъ румбомъ, а также и при опредѣленіи румбовъ линій будемъ предполагать, что имѣемъ транспортиръ съ приспособленною къ этому градусною подписью и что по серединѣ листа бумаги, на которой нужно сдѣлать требуемое построение или опредѣленіе, проведена прямая линія  $NS$  (черт. 119), изображающая меридіанъ. Тогда, если надо при точкѣ  $a$  провести линію подѣ румбомъ напр.  $NO:64^\circ$ , кладутъ

Черт. 119.



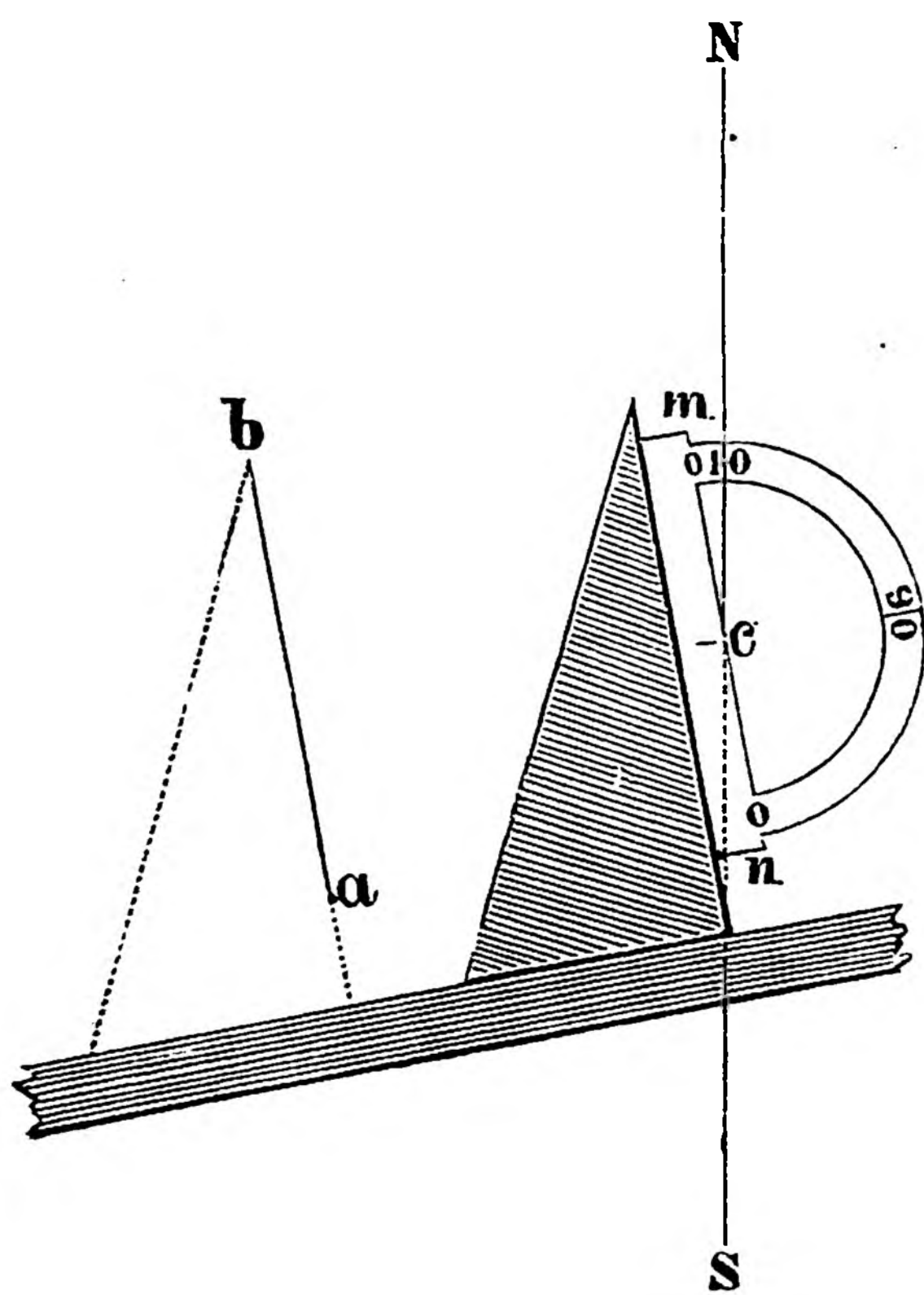
транспортиръ на бумагу такъ, чтобы ребро  $mn$  имѣло приблизительно требуемое направленіе; потомъ къ наружному ребру транспорта при- двигаютъ треугольникъ съ линейкою и, удерживая ихъ въ соприкосно- веніи между собою, передвигаютъ всѣ три снаряда такъ, чтобы центръ  $c$  транспорта и штрихъ, соотвѣтствующій  $64$  градусамъ, находились на меридіанѣ  $NS$ ; наконецъ, отнявъ транспортиръ, передвигаютъ тре- угольникъ по неподвижной линейкѣ до тѣхъ поръ, пока ребро его прой- детъ чрезъ  $a$ ; тогда прочерченная линія  $ab$  имѣетъ румбъ  $NO:64^\circ$ .

Чтобы, наоборотъ, опредѣлить румбъ линіи  $ab$ , данной на бумагѣ, совмѣщаютъ ее съ ребромъ треугольника, прикладываютъ къ этому же ребру транспортиръ, а къ другому ребру — линейку, и придерживая эту послѣднюю передвигаютъ треугольникъ вмѣстѣ съ транспортомъ по линейкѣ, пока центръ  $c$  будетъ находиться на меридіанѣ; тогда на- правленіе діаметра  $mn$  относительно меридіана и отсчетъ  $r^\circ$  по полу- окружности транспорта выразятъ искомый румбъ линіи  $ab$ .

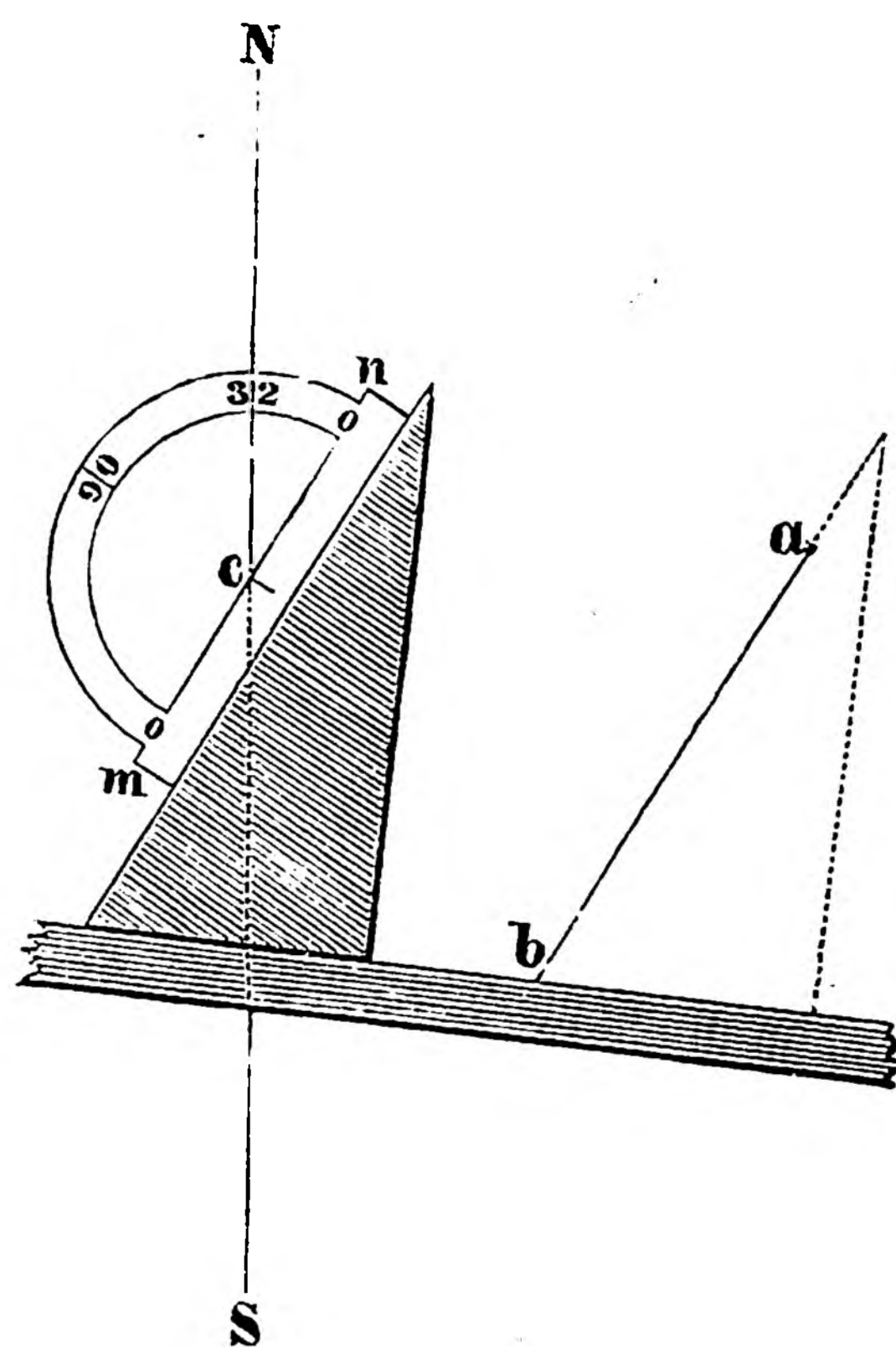
Линейку надо прижимать настолько крѣпко къ столу, за которымъ сидитъ чертежникъ, чтобы она не передвигалась во время передвиженія по ней треугольника; а для этого необходимо прикладывать транспор- тиръ и линейку къ треугольнику такъ, чтобы ребра линейки были воз- можно параллельнѣе къ краю стола, ибо только при этомъ положеніи можно *удобно* и достаточно крѣпко прижать ее къ столу. Съ другой

стороны, такъ какъ меридианъ  $NS$ , относительно котораго строятся румбы, всегда приблизительно перпендикуляренъ къ краю стола, то изъ опыта выведено правило для взаимнаго размѣщенія транспортира, треугольника и линейки въ зависимости отъ числа градусовъ румба. Правило это состоитъ въ слѣдующемъ: если число градусовъ румба заключается между  $0^\circ$  и  $20^\circ$ , то треугольникъ прикладывается къ транспортиру длиннымъ катетомъ, а линейка придвигается къ короткому катету (черт. 120); если число градусовъ румба заключается между  $20^\circ$  и  $45^\circ$ , то треугольникъ и линейка размѣщаются такъ, какъ указано на черт. 121; наконецъ, на черт. 119 изображено нанесеніе румба, градусная величина котораго заключается между  $45^\circ$  и  $90^\circ$ .

Черт. 120.



Черт. 121.

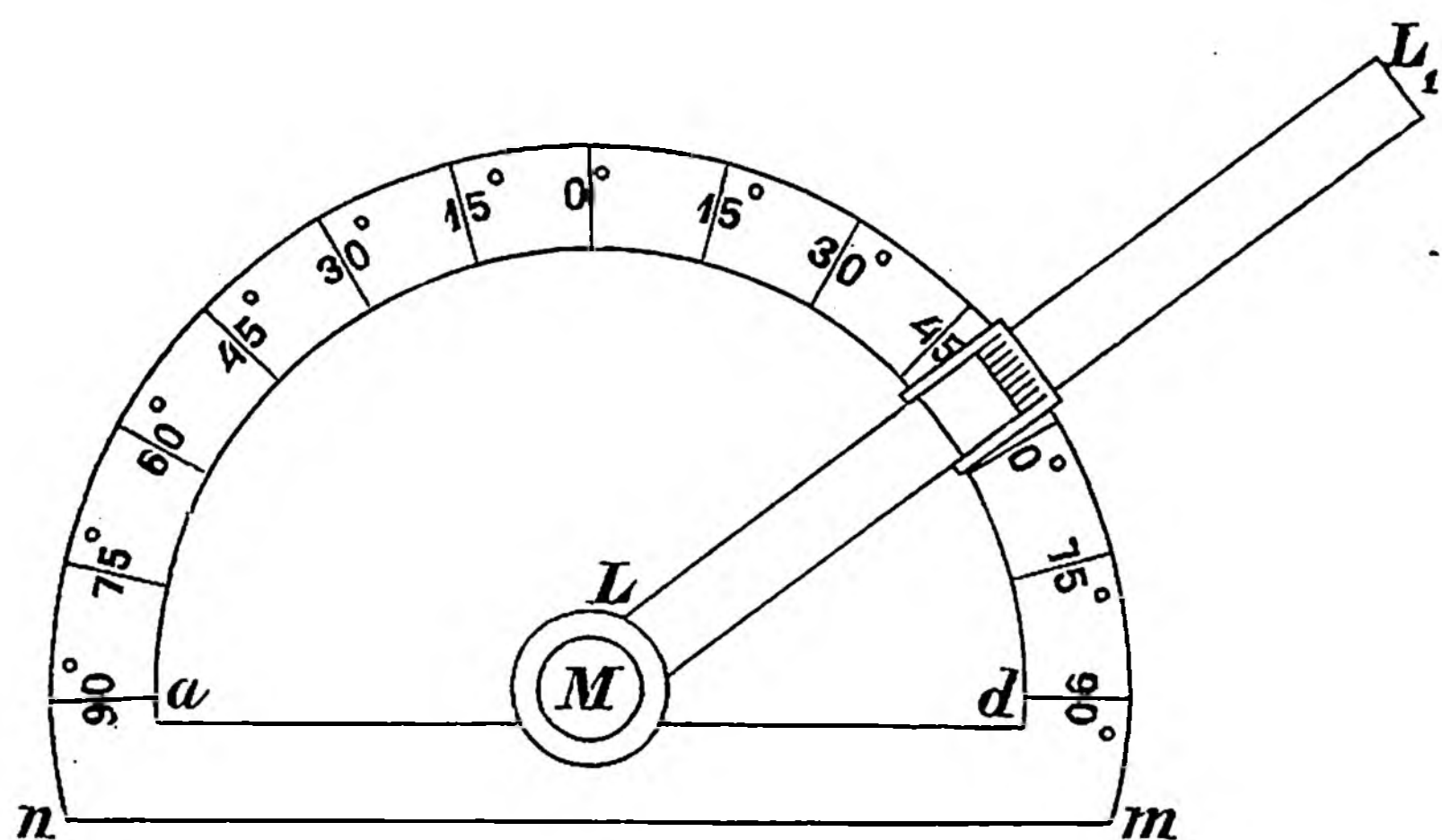


**§ 90.** *Транспортиръ съ алидадою (и верньеромъ)* тоже предназначенъ для измѣренія и нанесенія румбовъ линий на бумагу. Разсмотримъ транспортиръ межеваго инженера *Полянцева*, отличающійся отъ предыдущаго тѣмъ, что въ центрѣ полуокружности вращается линейка (алидада)  $LL_1$  съ верньеромъ (черт. 122), построеннымъ на рамѣ окошечка, сдѣланнаго на алидадѣ; при чемъ нуль верньера поставленъ на срединѣ его. Полуокружность раздѣлена на полуградусы и точность верньера равна 1 минутѣ. Градусная подпись расположена такъ: нуль стоитъ въ срединѣ полуокружности, а  $90^\circ$  — на концахъ ея. Гайка  $M$ , навинчивающаяся на конецъ оси вращенія алидады, служитъ для прекращенія свободнаго вращенія этой послѣдней.

Условія, которымъ должны удовлетворять отдѣльныя части этого транспортира, суть: 1) *дѣленія на полуокружности и верньеръ должны быть вѣрны*. Такъ какъ длина дуги верньера должна быть равна длинѣ опредѣленнаго числа дѣленій транспортира, а именно въ настоящемъ случаѣ она равна длинѣ 29 его дѣленіямъ, то при совпаденіи одного

крайняго штриха верньера съ какимъ-либо штрихомъ транспортира, другой крайній штрихъ верньера также долженъ совпадать со штрихомъ полуокружности. Основываясь на этомъ, вѣрность дѣлений транспортира повѣряется такъ: приводятъ крайній штрихъ верньера послѣдовательно въ совпаденіе съ  $0^\circ$ ,  $1^\circ$ ,  $2^\circ$ , ....; если при этомъ каждый разъ и другой крайній штрихъ верньера будетъ совпадать со штрихомъ транспортира, то дѣленія вѣрны; если же при передвиженіи верньера будетъ замѣчено несовпаденіе *отдѣльныхъ* штриховъ полуокружности со вторымъ крайнимъ штрихомъ верньера, то это укажетъ на невѣрность этихъ штриховъ. Если разстояніе между крайними штрихами верньера, будучи вначалѣ напр. равно разстоянію между какими нибудь штрихами полуокружности, становится затѣмъ, по мѣрѣ передвиженія алидады, постепенно все болѣе и болѣе и, достигнувъ наибольшей

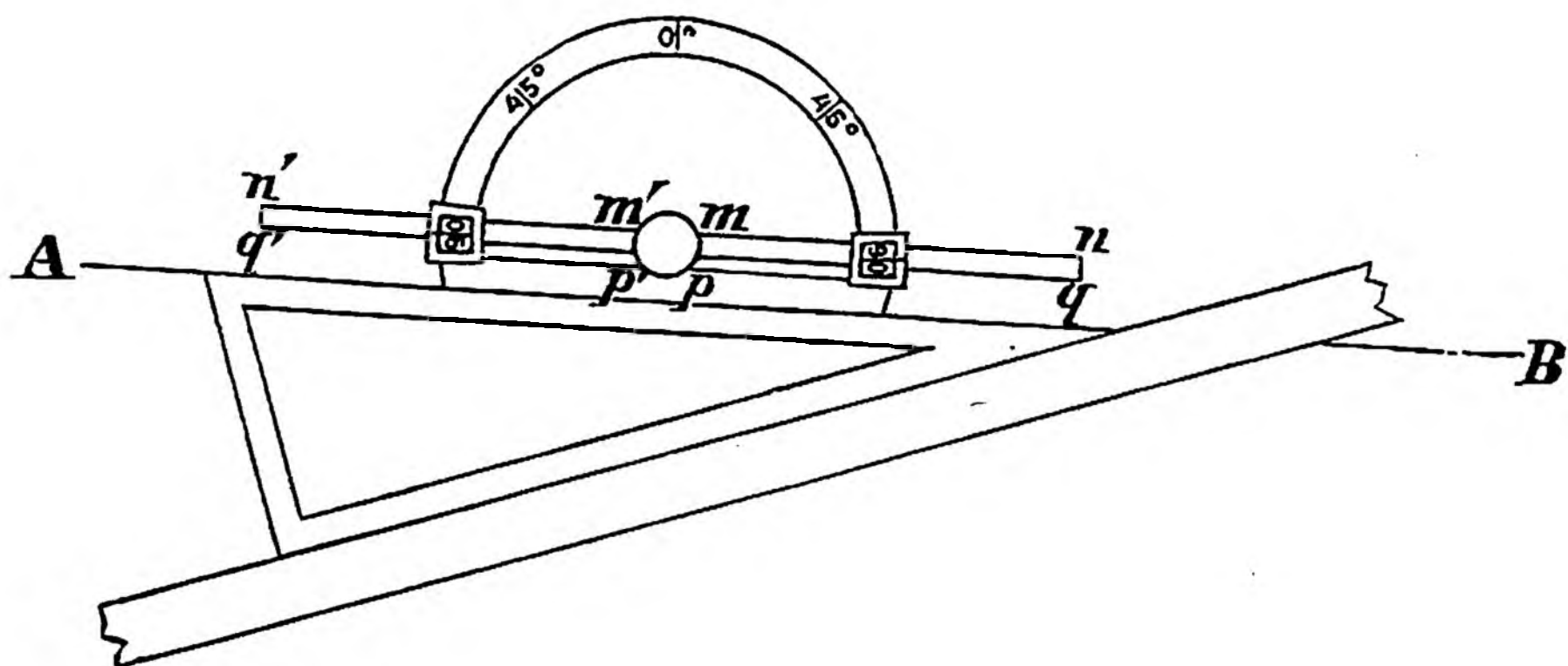
Черт. 122.



величины, уменьшается или, наоборотъ, сначала дѣлается все меньше и меньше, а затѣмъ увеличивается, то это свидѣтельствуетъ объ эксцентричномъ положеніи алидады. (Существованіе эксцентрицитета у алидады транспортира подтвердится также и особою повѣркою). Наконецъ, повѣрка дѣлений верньера дѣлается по объясненному въ § 51, т. е. приводятъ послѣдовательно каждый его штрихъ въ совпаденіе съ однимъ какимъ нибудь штрихомъ транспортира и смотрятъ — найдутся ли два рядомъ лежащіе штриха верньера на равныхъ разстояніяхъ отъ ближайшихъ штриховъ полуокружности. Если да, то дѣленія вѣрны. Хотя эту повѣрку можно производить простымъ глазомъ, но лучше пользоваться лупою. 2) *Діаметръ, проходящій черезъ штрихи, подписанные  $90^\circ$ , долженъ быть параллеленъ наружному ребру линейки транспортира.* Повѣряется такъ же, какъ и условіе 2) въ простомъ транспортирѣ; но такъ какъ штрихи  $90^\circ$ -градусные въ этомъ транспортирѣ не подходятъ къ самой бумагѣ, то при установкѣ діаметра  $90^\circ-90^\circ$  на прямой, во избѣжаніе параллакса, происходящаго отъ передвиженія головы, дѣйствіе это нужно произвести при одномъ и томъ же положеніи глаза надъ осью вращенія алидады. 3) *Алидада должна вращаться въ центръ полуокружности;* для изслѣдованія этого необходимо, чтобы: а) *при совпаденіи нулеваго штриха верньера съ штрихами  $90^\circ$ , скошенныя ребра алидады были параллельны наружному ребру ли-*

нейки транспортира; б) тѣ же ребра алидады были параллельны линіи, соединяющей нулевую точку верньера съ осью вращенія алидады, и с) при совмѣщеніи нулеваго штриха верньера съ нулевымъ штрихомъ полуокружности, тѣ же ребра алидады были перпендикулярны къ наружному ребру линейки транспортира. Прочерчиваютъ на бумагѣ прямую  $AB$  (черт. 123), къ которой прикладываютъ треугольникъ, а къ этому послѣднему придвигаютъ линейку. Затѣмъ, приводя нуль верньера въ совпаденіе послѣдовательно съ каждымъ изъ 90-градусныхъ штриховъ, прикладываютъ транспортиръ къ ребру треугольника, прочерчиваютъ по ребрамъ алидады линіи:  $mn$ ,  $pq$ ,  $m'n'$  и  $p'q'$ , отодвигаютъ транспортиръ и замѣчаютъ — можно ли при неподвижномъ положеніи линейки придвинуть ребро треугольника такъ, чтобы оно совмѣстилось (разумѣется не одновременно) съ прочерченными линіями. Если это возможно для всѣхъ четырехъ линій, то условія а) и б) выполнены; если же воз-

Черт. 123.



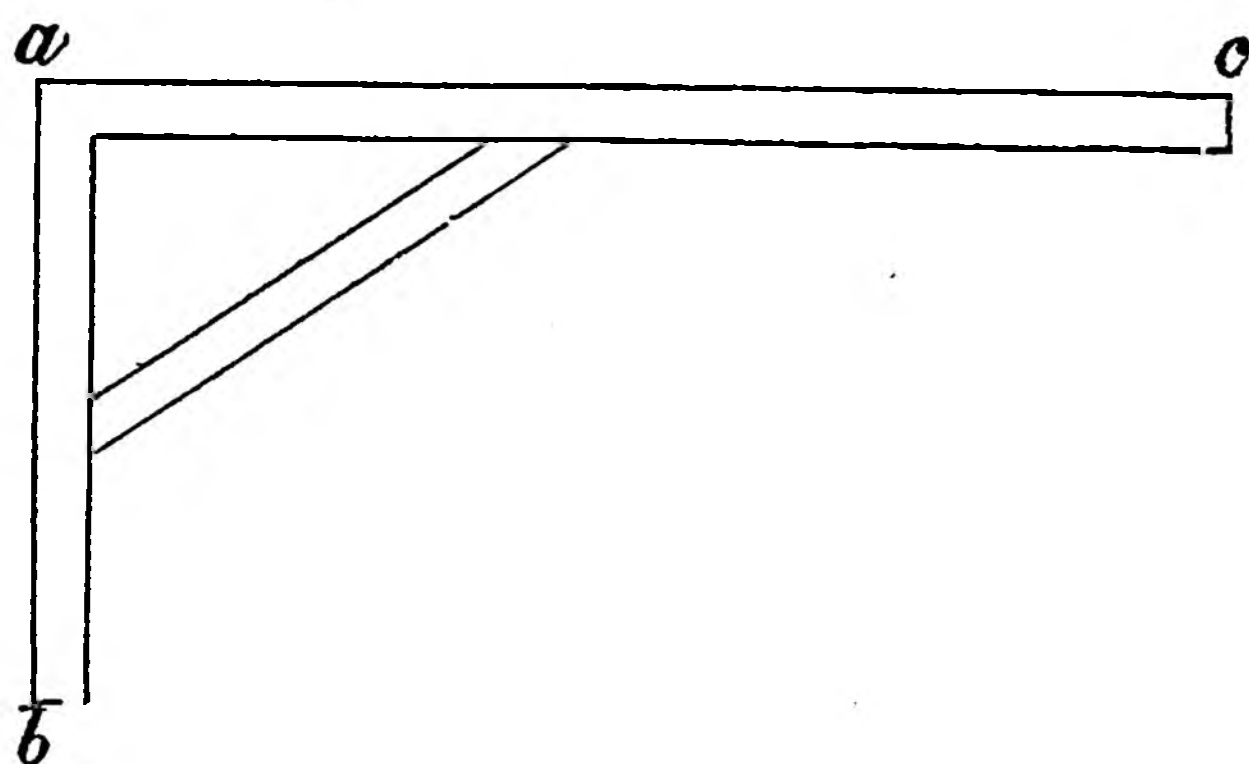
можно только для одной пары линій:  $mn$  и  $pq$  или  $m'n'$  и  $p'q'$ , то выполнено только условіе а) и наконецъ если это совсѣмъ невозможно, то невыполнено какъ а), такъ и б). Повѣрка условія с) производится посредствомъ двухъ перпендикулярныхъ между собою линій, а именно: поставивъ нулевой штрихъ верньера на нулевой штрихъ полуокружности, прикладываютъ наружное ребро линейки транспортира къ одной изъ начерченныхъ линій и смотрятъ — совмѣщается ли одно изъ реберъ алидады съ другою линіею.

Иногда дуга транспортира Полянцева представляетъ не полуокружность, а четверть окружности. Условіе 2) въ этомъ случаѣ состоитъ въ томъ, чтобы линія, соединяющая ось вращенія алидады и 90° полуокружности, была параллельна наружному ребру линейки. Это условіе, хотя и нельзя повѣрить непосредственно, тѣмъ не менѣе можно предполагать, что оно не выполнено, если въ транспортирѣ не будутъ выполнены или оба пункта а) и с) третьяго условія, или одинъ изъ нихъ. Кроме того, нужно замѣтить, что для повѣрки пункта б) условія третьяго, транспортиръ прикладывается при этомъ къ треугольнику обоими перпендикулярными между собою ребрами.

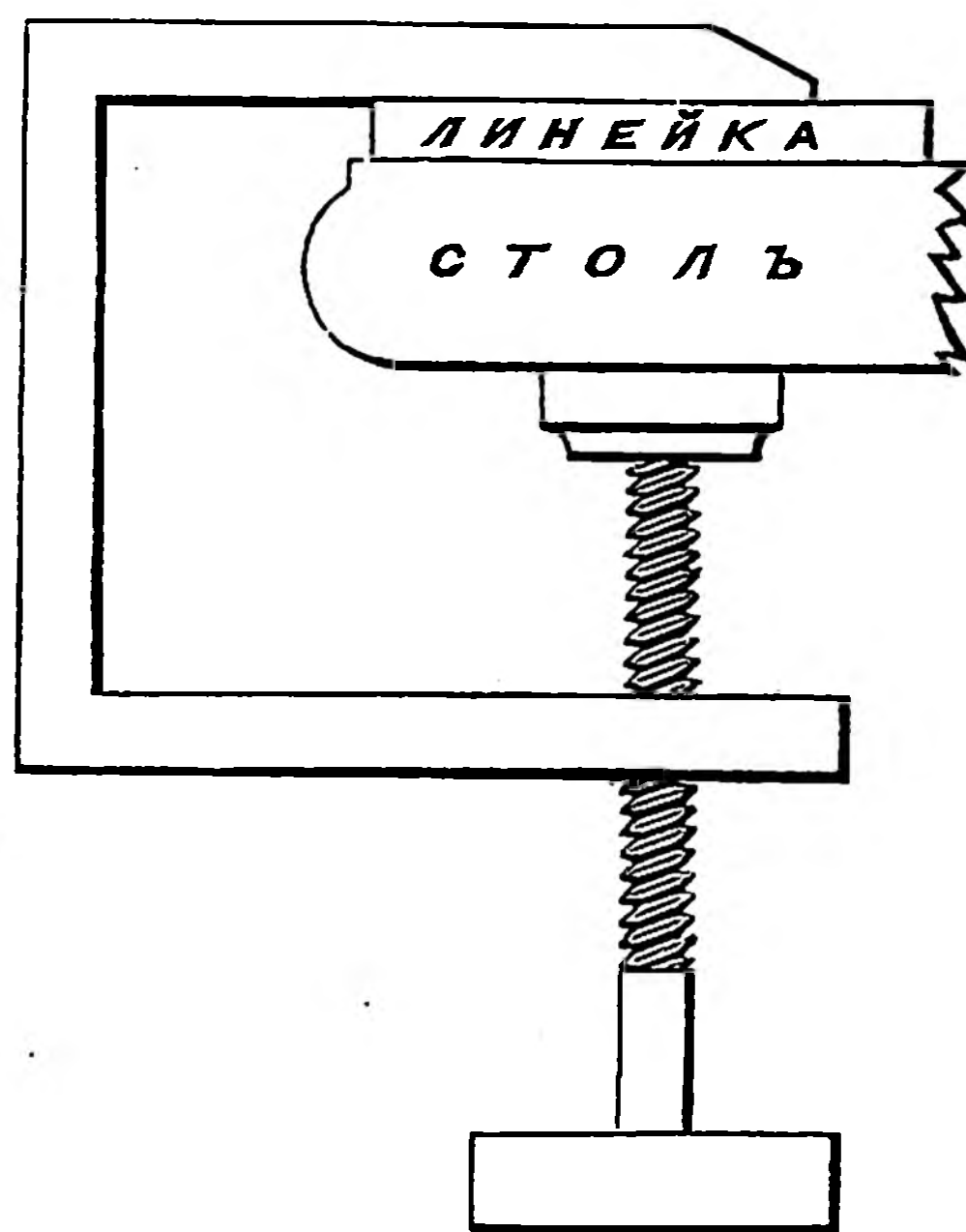
При повѣркахъ транспортира Полянцева можно вмѣсто обыкновенныхъ линейки и треугольника употреблять линейку, привинченную къ столу особыми клещами (струпцинками), и деревянный *наугольникъ*

(черт. 124). Если какое-либо изъ условий транспортира не выполнено, то исправленіе поручается механику.

Черт. 124.



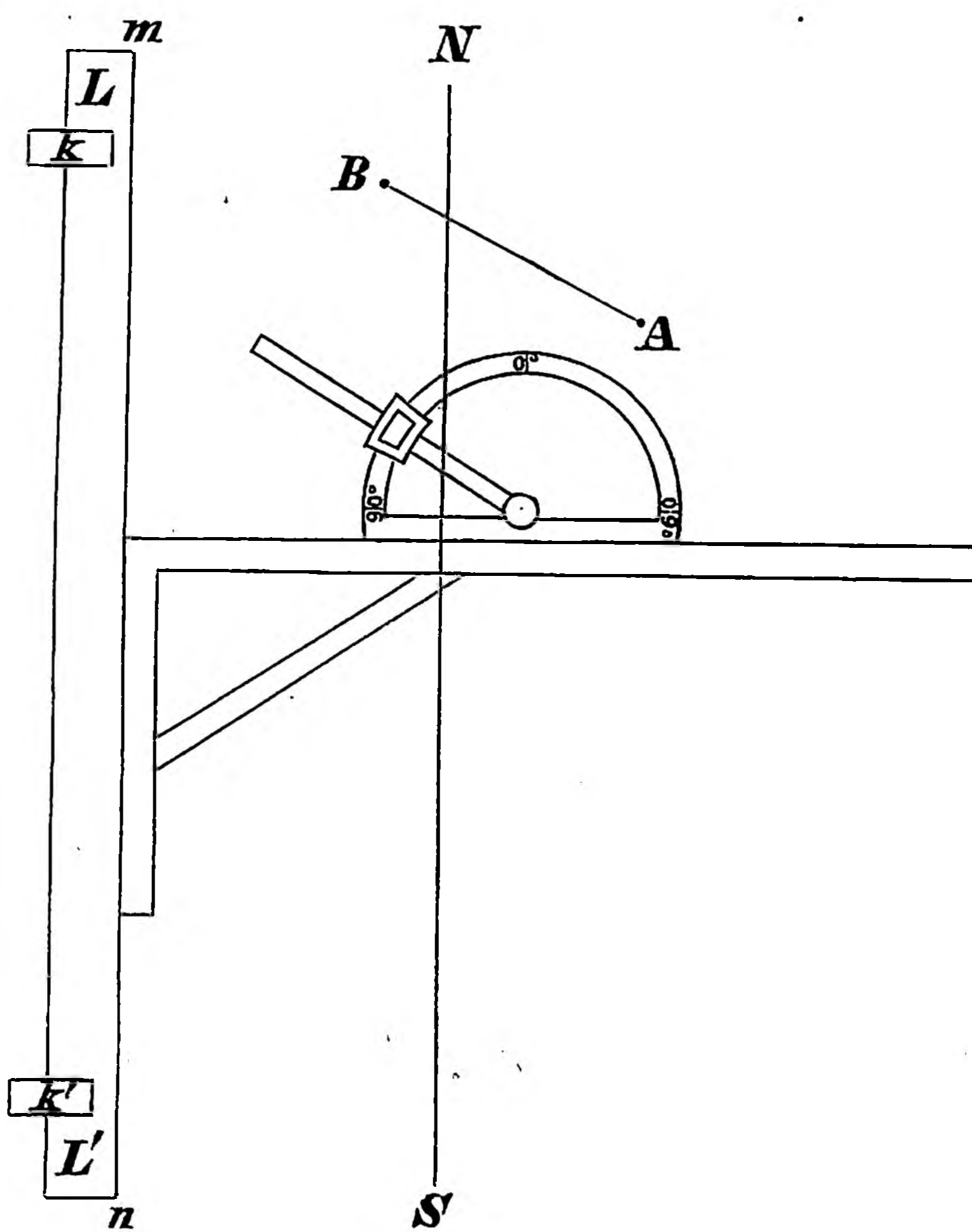
Черт. 125.



Транспортиръ Полянцева можетъ быть употребляемъ такъ же, какъ

и простой, но изобрѣтатель рекомендуетъ пользоваться при этомъ обыкновенною линейкою, прикрѣпленную струпцинками (черт. 125) къ тому краю стола, который параллеленъ длинѣ листа бумаги, прижатой линейкою, и наугольникомъ. Короткое ребро  $ab$  этого наугольника прикладывается къ ребру линейки, и при передвиженіи наугольника вдоль этой послѣдней ребро  $ac$  будетъ передвигаться параллельно самому себѣ; при чемъ  $ab$  не должно отдѣляться отъ ребра линейки. Предполагая, что линейка и наугольникъ вывѣрены, самый способъ нанесенія и измѣренія румбовъ состоитъ въ слѣдующемъ: Положимъ, что при точкѣ  $A$

Черт. 126.



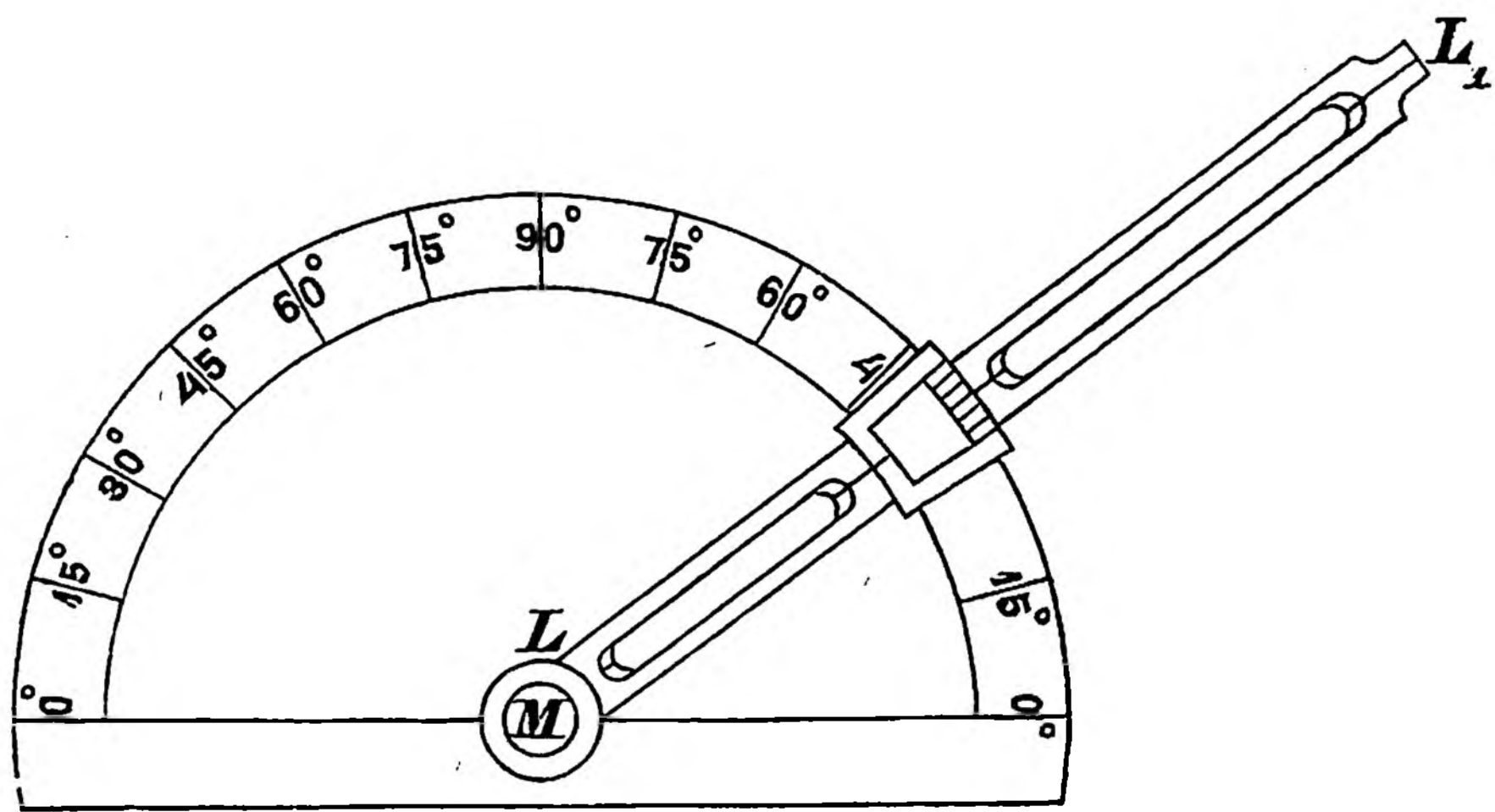
(черт. 126) требуется нанести на бумагу линію подъ румбомъ  $NW:41^{\circ}22'$ ; кладутъ на бумагу линейку  $LL'$  и прикрѣпляютъ ее къ краю стола струпцинками  $k, k'$  такъ, чтобы ребро ея  $mn$  было параллельно меридіану  $NS$ ; по ребру  $mn$  прочерчиваютъ прямую, представляющую направленіе меридіана; къ тому же ребру  $mn$  придвигаютъ короткою стороною наугольничъ; ставятъ нуль алидады влѣво отъ нулевого штриха полуокружности на  $41^{\circ}22'$ ; прикладываютъ транспортиръ къ длинной

сторонѣ наугольника и передвигаютъ этотъ послѣдній по ребру линейки  $LL'$ , а транспортиръ — по ребру наугольника до тѣхъ поръ, пока ребро алидады пройдетъ черезъ точку  $A$ . Прочертивъ по этому ребру алидады линію *вверхъ*, получаютъ направленіе  $AB$  съ румбомъ  $NW:41^{\circ}22'$ . Если названіе румба будетъ  $SO$ , то линію слѣдуетъ прочертить *внизъ* отъ  $A$ ; если же названіе румба будетъ или  $NO$ , или  $SW$ , то нуль алидады слѣдуетъ устанавливать вправо отъ нулеваго штриха полуокружности и прочерчивать линію соотвѣтственно *вверхъ* или *внизъ* отъ данной точки.

Чтобы не затрудняться въ томъ — по какую сторону отъ нуля полуокружности нужно при данномъ румбѣ устанавливать алидаду, на концахъ линейки транспортира награвировано  $NW$ ,  $SO$  и  $NO$ ,  $SW$ .

При измѣреніи румба линіи  $AB$ , данной на бумагѣ, прикрѣпляютъ предварительно линейку  $LL'$  къ столу такъ, чтобы ребро ея *тп* совмѣщалось съ линіею, параллельною направленію меридіана  $NS$  на бумагѣ, и подводятъ къ данной линіи наугольникъ съ транспортиромъ, пока вращеніемъ алидады послѣдняго ребро ея будетъ приведено въ совмѣщеніе съ  $AB$ . Отсчетъ по верньеру дастъ градусную величину румба, а положеніе алидады относительно нуля полуокружности опредѣлитъ его названіе.

Черт. 127.



Въ послѣднее время въ предыдущемъ транспортирѣ съ алидадою сдѣланы межевымъ инженеромъ *Великимъ* усовершенствованія, состоящія въ томъ, что по срединѣ алидады (черт. 127) имѣются два продолговатые прорѣза, а вдоль алидады проведена линія, называемая *нулевой*, которая въ прорѣзахъ и на концѣ  $L_1$  спускается и подходит къ самой бумагѣ, чѣмъ и достигается весьма точное совмѣщеніе нулевой линіи съ меридіаномъ, проведеннымъ на бумагѣ. Градусная подпись дуги расположена такъ: у средняго штриха полуокружности стоитъ  $90^{\circ}$ , а въ обѣ отъ него стороны подписи идутъ убывая до  $0^{\circ}$ . Точность верньера =  $5'$ .

Условія, требуемыя отъ этого транспортира и способы ихъ проверки суть: 1) *дѣленія на полуокружности и верньеръ должны быть вѣрны*. Проверка производится такъ же, какъ и въ транспортирѣ Полянцева, а именно: вѣрность дѣленій полуокружности проверяется посредствомъ всей длины верньера, а вѣрность дѣленій верньера проверяется послѣ-

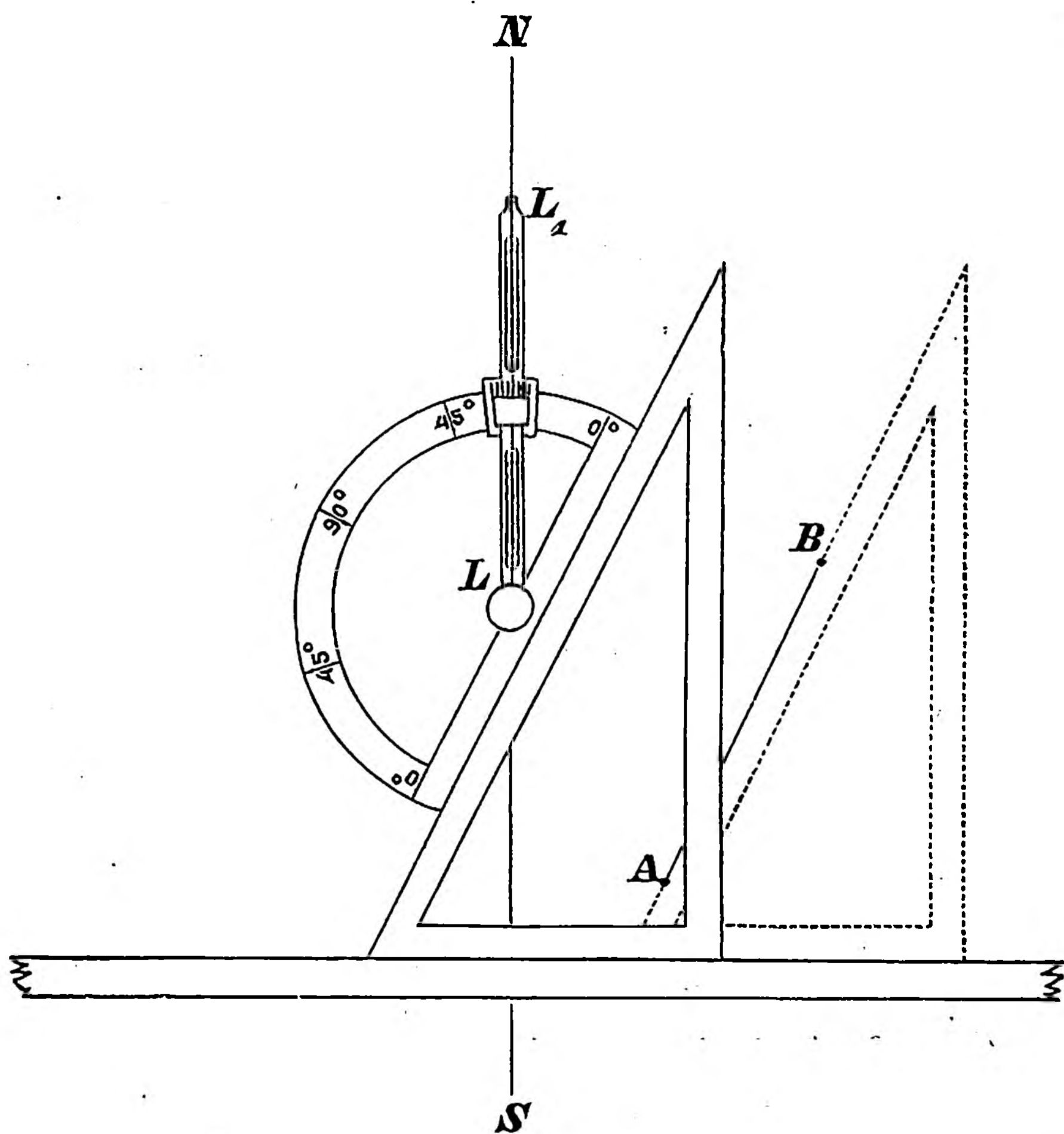
довательнымъ совмѣщеніемъ каждаго штриха его со штрихомъ полуокружности. 2) *Діаметръ транспортира, проходящій черезъ нули градусовъ, долженъ быть параллеленъ наружному ребру его линейки.* Повѣряется при помощи линейки и треугольника такъ же, какъ въ простомъ транспортирѣ. 3) *Алидада должна вращаться въ центрѣ полуокружности.* Для выполненія этого условія достаточно, чтобы центръ вращенія алидады помѣщался какъ на діаметрѣ, проходящемъ черезъ нули градусовъ, такъ и на линіи, къ нему перпендикулярной и проходящей черезъ  $90^\circ$ ; а это, въ свою очередь, повѣряется посредствомъ двухъ перпендикулярныхъ между собою прямыхъ  $AB$  и  $CD$ . Приведа нуль верньера въ совпаденіе съ нулемъ транспортира, совмѣщаютъ нулевую линію алидады съ линіею  $AB$ . Если  $AB$  проходитъ также и черезъ другой нуль транспортира, то нулевая линія алидады совмѣщается съ нулевымъ діаметромъ полуокружности. Чтобы узнать, лежитъ ли и центръ вращенія алидады на томъ же діаметрѣ, повторяютъ то же самое при совпаденіи нуля

верньера съ другимъ нулемъ полуокружности. После этого ставятъ нуль верньера на  $90^\circ$  и наложивъ транспортиръ на бумагу такъ, чтобы нулевой діаметръ его совмѣщался съ  $AB$ , замѣчаютъ — возможно ли нулевую линію алидады привести въ совмѣщеніе съ  $CD$  однимъ только передвиженіемъ транспортира по  $AB$ .

Если какое-либо изъ трехъ предыдущихъ условій не выполняется, то необходимое исправленіе должно быть поручено механику.

Нанесеніе на бумагу линіи подъ даннымъ румбомъ и опредѣленіе румба данной линіи дѣлается этимъ транспортиромъ почти такъ же, какъ и простымъ. Положимъ, при точкѣ  $A$  (черт. 128) надо нанести линію подъ румбомъ  $NO : 32^\circ 15'$ ; ставятъ нуль верньера на  $32^\circ 15'$  правой части дуги, кладутъ транспортиръ на бумагу, придвигаютъ къ нему треугольникъ съ линейкою и двигаютъ все вмѣстѣ по бумагѣ, пока нулевая линія алидады совмѣстится съ меридіаномъ  $NS$ . Наконецъ, отодвинувъ транспортиръ и придерживая линейку, передвигаютъ треугольникъ до прохожденія ребра его черезъ  $A$  и прочерчиваютъ линію  $AB$ . Чтобы опредѣлить румбъ линіи  $AB$ , данной на бумагѣ, прикладываютъ къ ней треугольникъ съ линейкою и придерживая линейку неподвижно,

Черт. 128.





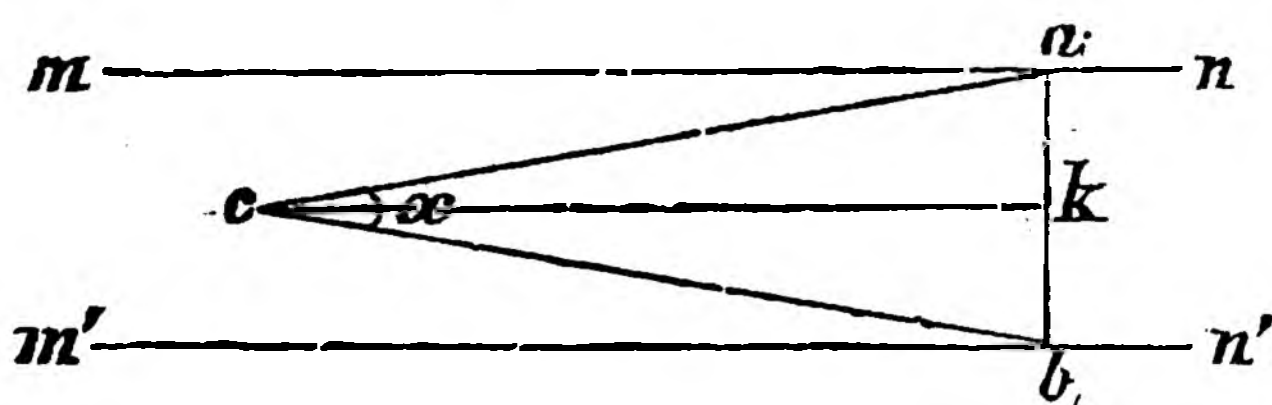
двигаютъ по ней треугольникъ съ приложеннымъ къ нему транспортиромъ, пока вращеніемъ алидады около центра можно привести нулевую линію въ совмѣщеніе съ меридіаномъ  $NS$ ; отсчетъ по верньеру дастъ искомое число градусовъ румба.

Такъ какъ сущность рѣшенія двухъ послѣднихъ вопросовъ транспортиромъ Великаго ничѣмъ не отличается отъ рѣшенія ихъ простымъ транспортиромъ, то и правило, данное для этого послѣдняго въ концѣ § 89 и касающееся взаимнаго расположенія транспортира, треугольника и линейки, остается безъ измѣненія.

§ 91. Точность транспортира зависитъ главнымъ образомъ отъ его діаметра, и притомъ, чѣмъ онъ больше, тѣмъ болѣе мелкія части дуги можно оцѣнивать. Для простаго транспортира обыкновенныхъ размѣровъ, т. е. съ діаметромъ въ 7 дюймовъ, и раздѣленнаго на полуградусы можно оцѣнивать на глазъ  $\frac{1}{8}^\circ$  или 7,5 минутъ. Принимая же во вниманіе вліяніе еще другихъ погрѣшностей, каковы: не совершенно точное наложеніе транспортира на линію, не всегда одинаково плотное соприкосновеніе транспортира, треугольника и линейки, не совершенно точное выполненіе въ этихъ снарядахъ требуемыхъ отъ нихъ условій и т. п., можно считать, что точность построенія и измѣренія угла на бумагѣ *простымъ семидюймовымъ* транспортиромъ вообще простирается отъ 10 до 15 минутъ.

Точность же построенія и измѣренія угла *транспортиромъ съ алидадою* отнюдь не есть точность его верньера, потому что она зависитъ, между прочимъ, также и отъ толщины линіи, начерченной на бумагѣ карандашемъ. Чтобы оцѣнить величину вліянія этой толщины, возьмемъ на бумагѣ линію  $mnt'n'$  (черт. 129), толщина которой есть  $ab$ , и допустимъ, что центръ транспортира совмѣщается съ точкою  $c$ , лежащею на

Черт. 129.



линіи  $ck$ , равно-отстоящей отъ краевъ  $mn$  и  $m'n'$  начальной линіи  $mnt'n'$ ; тогда уголъ  $ack = x$  будетъ выражать величину наибольшей ошибки измѣренія или построенія угла, происходящаго отъ толщины *одной* изъ

сторонъ его. Изъ чертежа имѣемъ, что

$$\operatorname{tg} ack = \frac{ab}{2ck} \text{ или } x = \frac{ab}{ck \cdot \sin 1''}.$$

Такъ какъ эта ошибка можетъ быть для одной изъ сторонъ угла со знакомъ плюсъ, а для другой — со знакомъ минусъ, то, рассматривая ее какъ случайную, средняя ошибка  $m$  измѣренія или построенія угла, происходящая отъ вліянія толщинъ *обѣихъ* сторонъ угла, на основаніи формулы (VI) пункта *b* § 26, будетъ  $x\sqrt{2}$  или

$$m = x\sqrt{2} = \frac{ab}{ck \cdot \sin 1''} \sqrt{2}.$$

Слѣдов. при одной и той же толщинѣ  $ab$  сторонъ угла ошибка будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ короче линія  $ck$ , — иначе, чѣмъ короче стороны его. Принимая (по *Бауернфейнду*) толщину  $ab$  линіи, начерченной на бумагѣ остро-очиненнымъ карандашемъ, = 0,05 милл. или почти 0,002 дюйма, а линію  $ck$ , выражающую длину алидады транспортира, = 7 дюймамъ, найдемъ, что

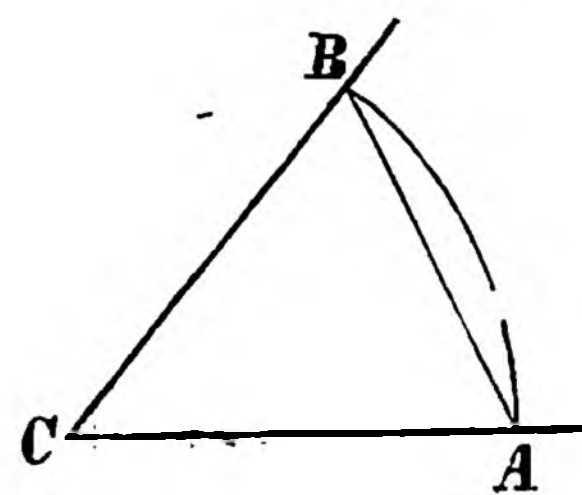
$$m = 1'23''.$$

Это и есть средняя ошибка нанесенія угла транспортиромъ съ алидадою; а такъ какъ предѣльная ошибка равна утроенной средней, то она = 4'9". Если же кромѣ ошибки отъ толщины линіи принять во вниманіе еще другія неизбежныя погрѣшности, сумма вліянія которыхъ меньше, чѣмъ въ простомъ транспортирѣ, то слѣдуетъ допустить, что предѣльная ошибка нанесенія и измѣренія на бумагѣ угла можетъ достигнуть 5 минутъ. Эту величину нужно считать точностью транспортира съ алидадою и верньеромъ.

е) Таблица хордъ.

§ 92. Построеніе и измѣреніе угловъ на бумагѣ можетъ производиться, помимо транспортира, также и при помощи *таблицы хордъ*. Въ этой таблицѣ, приложенной въ концѣ книги подъ № III, помѣщены числовыя величины хордъ окружности при радиусѣ  $R = 1000$  для всѣхъ угловъ отъ  $0^\circ$  до  $90^\circ$  съ интерваломъ въ 5 минутъ. Если  $BСA = C$  (черт. 130) есть уголъ съ извѣстною градусною величиною и если изъ вершины его  $C$  опишемъ дугу радиусомъ  $R$ , то длина хорды  $BA = h$  можетъ быть вычислена по формулѣ

Черт. 130.



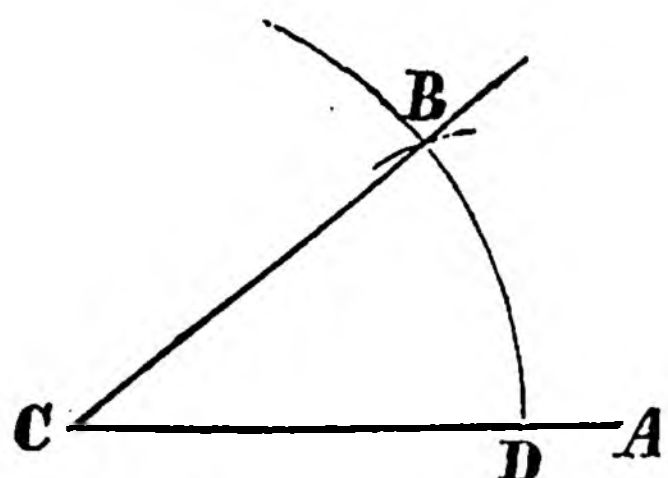
$$h = 2R \sin \frac{1}{2} C,$$

которая и служитъ для составленія таблицы; при чемъ  $R$  принимается = 1000, а  $C$  дѣлается послѣдовательно равнымъ  $0^\circ 5'$ ,  $0^\circ 10'$ , ...  $90^\circ$ .

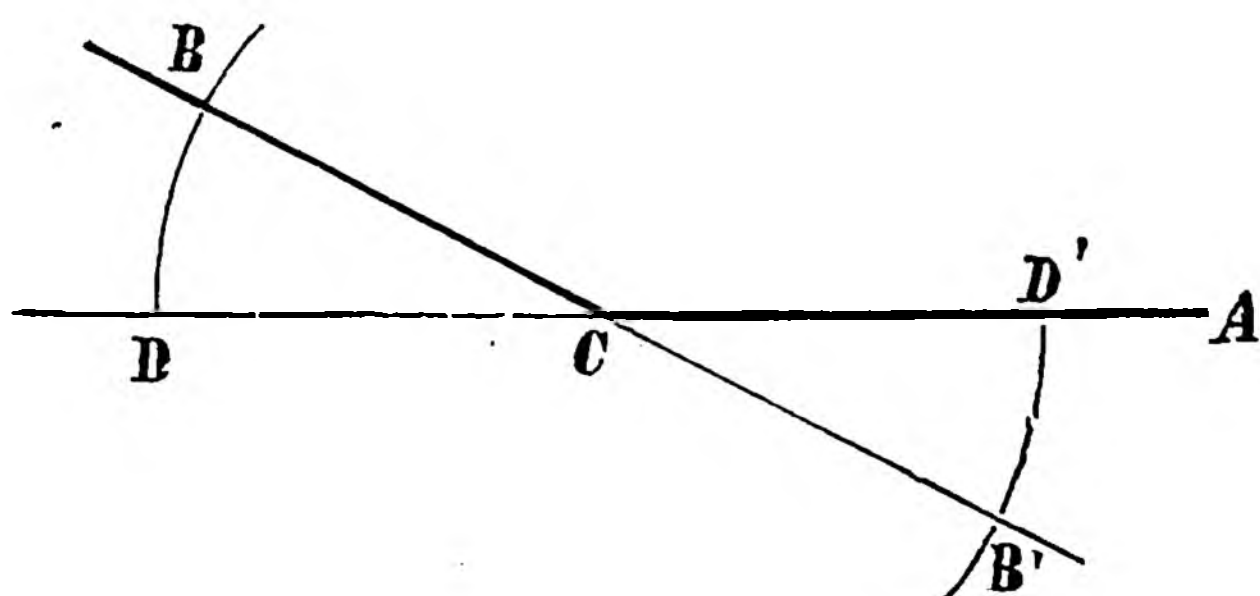
При употребленіи этой таблицы съ цѣлью построенія на бумагѣ даннаго угла нужно имѣть поперечный масштабъ, основаніе котораго = 10 полудюймамъ и съ помощью котораго можно было бы брать тысячныя доли этого основанія.

Самое употребленіе состоитъ въ слѣдующемъ: чтобы построить на линіи  $CA$  (черт. 131) уголъ, напр. въ  $37^\circ 45'$ , описываютъ изъ  $C$  радиусомъ  $CD = 10$  полудюймамъ дугу, которую засѣкаютъ изъ  $D$  хордою  $h = 647$ , соответствующею данному углу и взятою по предыдущему масштабу; соединеніе полученной точки  $B$  съ  $C$  дастъ искомый уголъ  $BСD$ . Если данный уголъ болѣе  $90^\circ$  но менѣе  $270^\circ$ , то на продолженіи линіи  $AC$

Черт. 131.



Черт. 132.

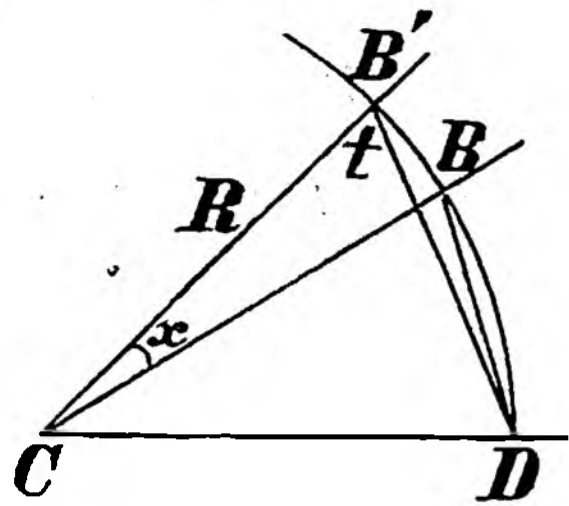


сомъ  $CD = 10$  полудюймамъ дугу, которую засѣкаютъ изъ  $D$  хордою  $h = 647$ , соответствующею данному углу и взятою по предыдущему масштабу; соединеніе полученной точки  $B$  съ  $C$  дастъ искомый уголъ  $BСD$ . Если данный уголъ болѣе  $90^\circ$  но менѣе  $270^\circ$ , то на продолженіи линіи  $AC$

(черт. 132) строить или дополнение его до  $180^\circ$ , или превышение надъ  $180^\circ$ . Если уголъ болѣе  $270^\circ$ , то при  $C$ , внизъ линіи  $CA$  строятъ дополнение до  $360^\circ$ . Здѣсь же строятъ и уголъ меньшій  $180^\circ$ , въ случаѣ невозможности продолжить  $AC$ , и затѣмъ продолжаютъ  $B'C$  кверху.

При рѣшеніи обратнаго вопроса, т. е. при опредѣленіи числа градусовъ и ихъ долей въ данномъ углѣ, описываютъ изъ вершины его дугу радиусомъ въ 10 полудюймовъ, измѣряютъ хорду, соответствующую углу и отыскиваютъ въ таблицѣ число, ближайшее къ длинѣ хорды; число градусовъ и минутъ, стоящее противъ найденной хорды, выразитъ градусную величину угла.

Точность построения и измѣренія угла на бумагѣ съ помощью таблицы хордъ есть  $5'$ . Это видно изъ слѣдующаго: такъ какъ точность масштаба есть  $\frac{1}{200}$  доли дюйма, то положимъ, что при построении угла  $B'CD$  (черт. 133) вмѣсто хорды  $BD$  взята была въ циркуль длина  $B'D$ , большая  $BD$  на величину  $t = \frac{1}{200}$  доли дюйма. Изъ малаго треугольника  $B'CB$ , почти прямоугольнаго, имѣемъ



$$t = R \sin x,$$

гдѣ  $x$  есть ошибка въ углѣ  $C$ , происходящая отъ неточнаго дѣйствія циркулемъ. Отсюда, по малости  $x$ ,

$$x = \frac{t}{R \sin 1''}.$$

Сдѣлавъ здѣсь  $t = \frac{1}{200}$  доли дюйма, а  $R = 5$  дюймамъ, получимъ  $x = 3',4$ . Если принять во вниманіе еще другія неточности, то ошибку слѣдуетъ считать въ  $5'$ .

### Приемы и снаряды для перерисовки плановъ.

§ 93. Перерисовка плана можетъ быть произведена съ сохраненіемъ оригинальнаго масштаба и съ измѣненіемъ его. При перерисовкѣ съ сохраненіемъ масштаба употребляется одинъ изъ слѣдующихъ трехъ способовъ:

а) *Перерисовка на прозрачный коленкоръ (кальку)*. Распрямяютъ кальку на перерисовываемомъ планѣ и прикрѣпляютъ ее вмѣстѣ съ нимъ къ столу кнопками; затѣмъ начинаютъ перерисовку съ рамки плана или границы фигуръ, что и дѣлаютъ прямо тушью и, если возможно, по линейкѣ. Затѣмъ приступаютъ къ перерисовкѣ деталей, переходя постепенно отъ болѣе крупнаго къ мелкому для того, чтобы въ случаѣ нечаяннаго передвиженія кальки на планѣ лучше можно было положить ее на прежнее мѣсто и исправить происшедшую отъ этого невѣрность въ копированіи. Наконецъ, только по окончаніи перерисовки контуровъ дѣлается ихъ иллюминировка красками и подписываніе тушью. Для лучшей видимости при употребленіи такой копии на калькѣ, подклеиваютъ ее бумагою.

б) *Перерисовка посредствомъ копировальнаго пульты*. Копировальный пультъ есть такое приспособленіе, которое состоитъ изъ зеркальнаго стекла, вставленнаго въ раму и поворачивающагося вмѣстѣ съ этою

последнею около осей 2—3 шарнировъ. Снизу этой рамы дѣлаются двѣ распорки, посредствомъ которыхъ можно наклонять стекло насколько нужно. При копированіи кладутъ на стекло оригиналь, а на него бумагу, на которой желаютъ получить копію, и все это прикрѣпляютъ другъ къ другу кусочками воска. Затѣмъ поворачиваютъ стекло къ окну и даютъ ему такой наклонъ, чтобы контуры оригинала возможно лучше просвѣчивали чрезъ бумагу, и производятъ перерисовку въ томъ же порядкѣ, какъ и въ предыдущемъ способѣ. Для большей видимости рисунка оригинала, спускаютъ у окна штору до верхняго края рамы пульта. Копировальнымъ пультомъ можно пользоваться и вечеромъ, при чемъ источникъ свѣта (лампа, свѣча) помѣщается на полу.

с) *Перерисовка посредствомъ копировальной иглы (наколки)* состоитъ въ томъ, что всѣ вершины угловъ и поворотныя точки криволинейныхъ контуръ оригинала переносятся помощью проколовъ, дѣлаемыхъ тонкою иглою, на бумагу, прикрѣпленную неподвижно подъ оригиналомъ. По окончаніи всего перенесенія оригиналь снимается и наколотыя на копіи точки соединяются прямыми или кривыми линіями въ томъ порядкѣ, какъ и на оригиналѣ. При этомъ способѣ копирования должно держать наколку возможно перпендикулярнѣе къ бумагѣ. Такимъ путемъ можно получить сразу нѣсколько копій, но однако не болѣе четырехъ, потому что въ противномъ случаѣ легко вкрадутся невѣрности въ длинахъ линій, вслѣдствіе неперпендикулярности иглы къ плоскости бумаги. Этотъ способъ перерисовки хуже двухъ предыдущихъ тѣмъ, что чрезъ накалываніе портится оригиналь.

§ 94. При перерисовкѣ плана съ измѣненіемъ масштаба могутъ быть два случая: 1) случай *линейнаго измѣненія* есть тотъ, когда всѣ линіи копіи должны быть въ одно и то же (извѣстное) число разъ болѣе или менѣе соотвѣтственныхъ линій оригинала; 2) когда при перерисовкѣ плана должна быть *измѣнена его площадь* въ извѣстное число разъ. Въ обоихъ этихъ случаяхъ извѣстны оба масштаба: какъ масштабъ оригинальнаго плана, такъ и масштабъ копіи. Если одинъ изъ нихъ не данъ прямо, то онъ всегда можетъ быть опредѣленъ изъ условія заданія; такъ, если масштабъ оригинала есть  $\frac{1}{M}$  и если данное отношеніе длинъ линій копіи къ соотвѣтственнымъ линіямъ оригинала будемъ обозначать всегда чрезъ  $\frac{k}{o}$ , то масштабъ  $\frac{1}{m}$  копіи опредѣлится изъ пропорціи

$$k : o = \frac{1}{m} : \frac{1}{M};$$

откуда

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{M} \cdot \frac{k}{o}.$$

Напр., при

$$\frac{1}{M} = \frac{1}{8400} \text{ и } \frac{k}{o} = \frac{1}{4}$$

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{8400} \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{33600},$$

т. е. масштабъ копии таковъ, что одному английскому дюйму соотвѣтствуетъ 400 сажень.

Можно показать, что случай перерисовки плана съ измѣненіемъ площади всегда можетъ быть сведенъ на случай линейнаго измѣненія. Дѣйствительно, такъ какъ площади подобныхъ фигуръ относятся между собою какъ квадраты ихъ сходственныхъ сторонъ, то обозначивъ площади фигуръ копии и оригинала чрезъ  $p$  и  $P$ , а сходственные ихъ стороны чрезъ  $a$  и  $A$ , имѣемъ

$$\frac{p}{P} = \frac{a^2}{A^2}.$$

Но отношеніе  $\frac{a}{A}$  есть отношеніе длины линіи копии къ длинѣ линіи оригинала, которое мы обозначаемъ чрезъ  $\frac{k}{o}$ . Поэтому

$$\frac{p}{P} = \frac{k^2}{o^2} \quad \text{или} \quad \frac{k}{o} = \sqrt{\frac{p}{P}}.$$

Напр., дано  $\frac{p}{P} = \frac{1}{5}$ , тогда

$$\frac{k}{o} = \frac{1}{\sqrt{5}} = \frac{1}{2,24}.$$

§ 95. Самая перерисовка плана съ измѣненіемъ масштаба производится или посредствомъ квадратовъ, или посредствомъ треугольниковъ.

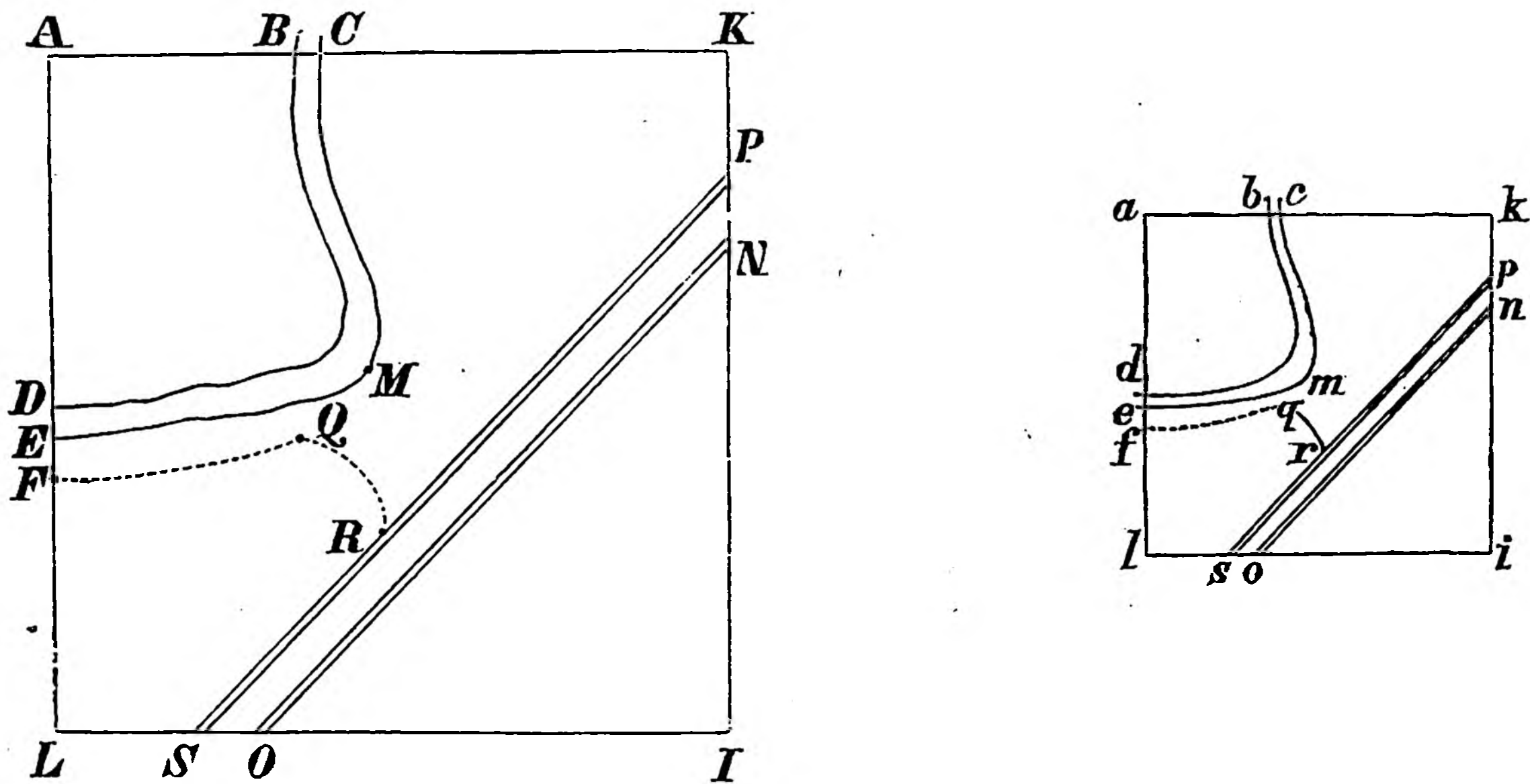
*Способъ квадратовъ* состоитъ въ томъ, что прежде всего бумагу для копии и оригиналъ разбиваютъ карандашемъ на квадраты, отношеніе сторонъ которыхъ равно данному отношенію длинъ линій копии и оригинала. Такъ, если масштабъ оригинала есть 100 сажень въ дюймѣ  $\left(\frac{1}{8400}\right)$ , а масштабъ копии долженъ быть 250 саж. въ дюймѣ  $\left(\frac{1}{21000}\right)$ , то

$$k : o = \frac{1}{21000} : \frac{1}{8400} = 2 : 5 = 0,4 : 1,$$

т. е. стороны квадратовъ копии должны составлять 0,4 отъ сторонъ квадратовъ оригинала. Длина сторонъ квадратовъ зависитъ отъ размѣровъ контуровъ, которые придется перерисовывать: чѣмъ они мельче, тѣмъ меньше и стороны квадратовъ; вообще же эти стороны должны быть таковы, чтобы чертежнику не трудно было дѣлать перерисовку на-глазъ, руководствуясь небольшимъ числомъ точекъ, перенесенныхъ на копию точно. Круглымъ числомъ стороны квадратовъ на копии имѣютъ длину въ 0,5 дюйма. Если на черт. 134 *akil* есть квадратъ копии, а *AKIL* — соотвѣтственный квадратъ оригинала, то перерисовку начинаютъ съ того, что на сторонахъ квадрата копии откладываютъ разстоянія  $ab, ac, \dots ad, ae, af, \dots kp, kn, \dots ls, lo, \dots$ , представляющія на оригиналѣ разстоянія  $AB, AC, \dots AD, AE, AF, \dots KP, KN, \dots LS, LO, \dots$ , уменьшенныя въ извѣстное число разъ. Затѣмъ засѣчками съ вершинъ квадрата или промѣрами по линіямъ контуровъ опредѣляютъ на копии

точки  $m, q, r, \dots$  соответствующія точкамъ  $M, Q, R, \dots$  поворотовъ контуровъ. Наконецъ, точки копи соединяють отъ-руки въ той послѣдовательности, въ какой соединены соответственныя точки на оригиналѣ. Къ слѣдующему квадрату переходятъ не иначе, какъ окончивъ перенесеніе всѣхъ контуровъ предыдущаго квадрата. Если нельзя портить

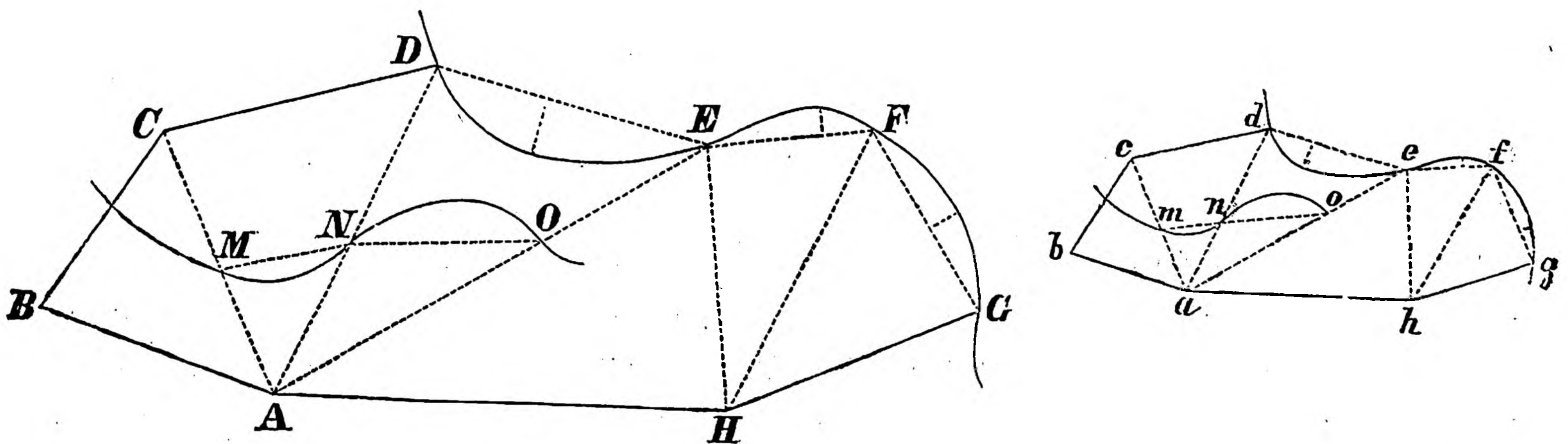
Черт. 134.



оригиналъ построениемъ на немъ сѣти квадратовъ, то накладываютъ на него такую же сѣть, построенную на калькѣ, которую *прикрѣпляютъ* къ оригиналу возможно надежнѣе.

*Способъ треугольниковъ* рекомендуется употреблять въ томъ случаѣ, когда перерисовкѣ подлежитъ отдѣльный многоугольникъ или криволинейный контуръ. Положимъ, что надо перерисовать фигуру  $ABCDGH$  (черт. 135), ограниченную между точками  $D$  и  $G$  кривою линіею. Выбравъ на этой кривой точки  $E$  и  $F$ , соединяють точки  $D, E, F$  и  $G$

Черт. 135.



прямыми линіями и разбиваютъ данную фигуру діагоналями на треугольники. Начиная съ одного изъ среднихъ треугольниковъ, напр.  $AEN$ , переносятъ ихъ на копию помощью циркуля въ данномъ уменьшеніи по тремъ сторонамъ и строятъ одинъ за другимъ треугольники:  $aeh, ade, acd, abc, hef$  и  $hfg$ . Перенесеніе это дѣлается *непрерывно* начиная съ средняго треугольника для того, чтобы уменьшить вліяніе накопленія въ одну сторону погрѣшностей построенія. Для нанесенія подробностей проводятъ внутри треугольниковъ на оригиналѣ линіи  $MN, NO, \dots$ ,

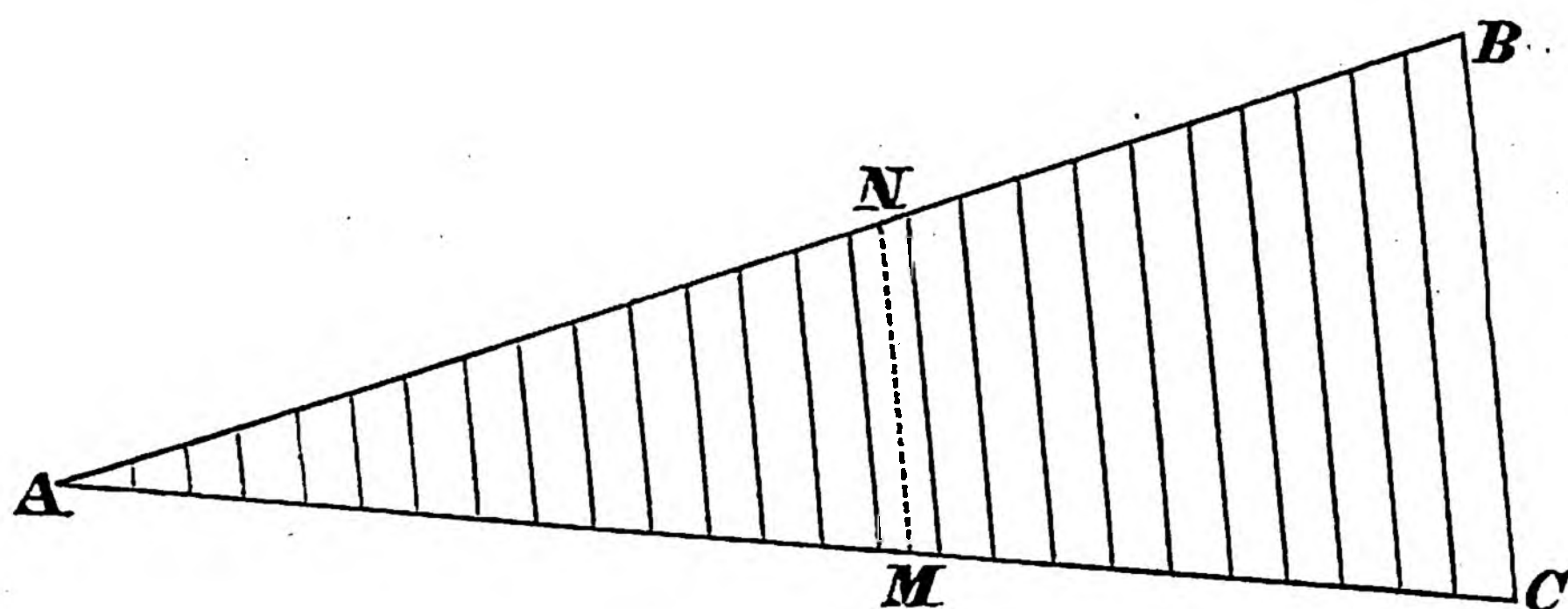
относительно которых рисуются на копии контуры въ данномъ уменьшеніи или на-глазъ, или помощью циркуля. Если данная фигура велика или имѣеть кругловатую форму, то для избѣжанія очень большихъ треугольниковъ разбиваютъ ее на треугольники линіями, исходящими изъ выбранныхъ внутри фигуры точекъ.

Указанные въ этомъ параграфѣ способы перерисовки употребляются при уменьшеніи плана и при перерисовкѣ его безъ измѣненія масштаба. Хотя ими можно пользоваться и при увеличеніи даннаго плана, тѣмъ не менѣе въ этомъ случаѣ они могутъ сопровождаться значительными неточностями, которыя произойдутъ отъ увеличенія неизбежныхъ погрѣшностей перенесенія. Понятно, что эти погрѣшности будутъ увеличены во столько разъ, во сколько линіи коніи болѣе линій оригинала. Лучше всего при увеличеніи плана произвести не перерисовку его, а новое составленіе по тѣмъ числовымъ даннымъ, которыя на немъ имѣются.

§ 96. Чтобы при перерисовкѣ плана уменьшать линіи въ одно и то же число разъ, пользуются или особою діаграммою или *пропорціо-нальнымъ циркулемъ*.

Построеніе діаграммы состоитъ въ слѣдующемъ: возьмемъ треуголь-никъ  $ABC$  (черт. 136), сторона котораго  $AC$  нѣсколько больше наи-большей длины, которую придется переносить съ оригинала на копию, а отношеніе  $BC : AC$  равно данному отношенію  $k : o$  линіи копии къ линіи

Черт. 136.



оригинала. Если разобьемъ треугольничекъ  $ABC$  линіями, параллель-ными  $BC$  и отстоящими другъ отъ друга примѣрно на 0,1 дюйма, то діаграмма готова. Употребленіе ея слѣдующее: чтобы уменьшить линію въ данномъ отношеніи  $k : o$ , берутъ эту линію въ циркуль, ста-вятъ одну изъ ножекъ его въ  $A$ ; тогда другая ножка, положимъ, помѣ-стится въ  $M$ , поворачиваютъ циркуль около  $M$  и приближаютъ другую ножку къ  $M$  настолько, чтобы она остановилась въ  $N$  на линіи  $MN$ , параллельной съ  $BC$ . Послѣ чего раствореніе  $MN$  ножекъ циркуля пред-ставитъ длину  $AM$ , уменьшенную въ данное число разъ, ибо

$$\frac{MN}{AM} = \frac{BC}{AC} = \frac{k}{o}.$$

Устройство и употребленіе *пропорціональнаго циркуля*<sup>1)</sup> основано

<sup>1)</sup> Пропорціональный циркуль изобрѣтенъ Ю. Бюрри (род. въ 1552 г., ум. въ 1632 г.).

на томъ геометрическомъ началѣ, что если для двухъ пересѣкающихся линій  $Aa$  и  $Bb$  (черт. 137) имѣемъ  $AC = BC$  и  $Ca = Cb$ , то

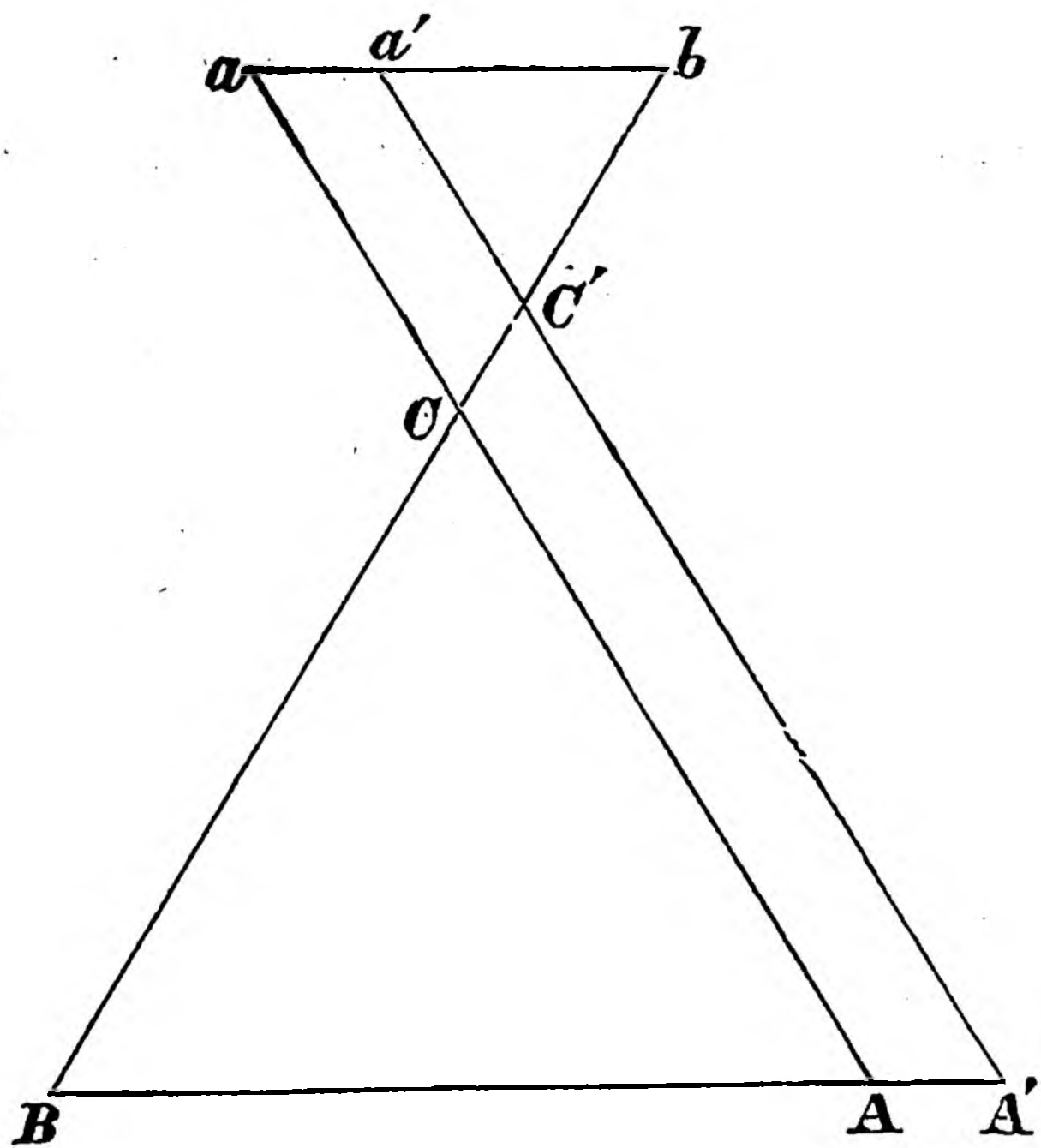
$$Ca : CA = ab : AB.$$

Слѣд., если  $Ca$  составляетъ какую нибудь опредѣленную долю отъ  $CA$ , напр. если отношеніе  $Ca : CA$  равно данному отношенію  $k : o$ , то ту же долю будетъ составлять линія  $ab$  отъ  $AB$ , т. е. отношеніе  $ab : AB$  тоже будетъ равно отношенію  $k : o$ . Передвинувъ точку пересѣченія изъ  $C$  въ  $C'$  такъ, чтобы  $C'a' = C'b$ , будемъ имѣть:

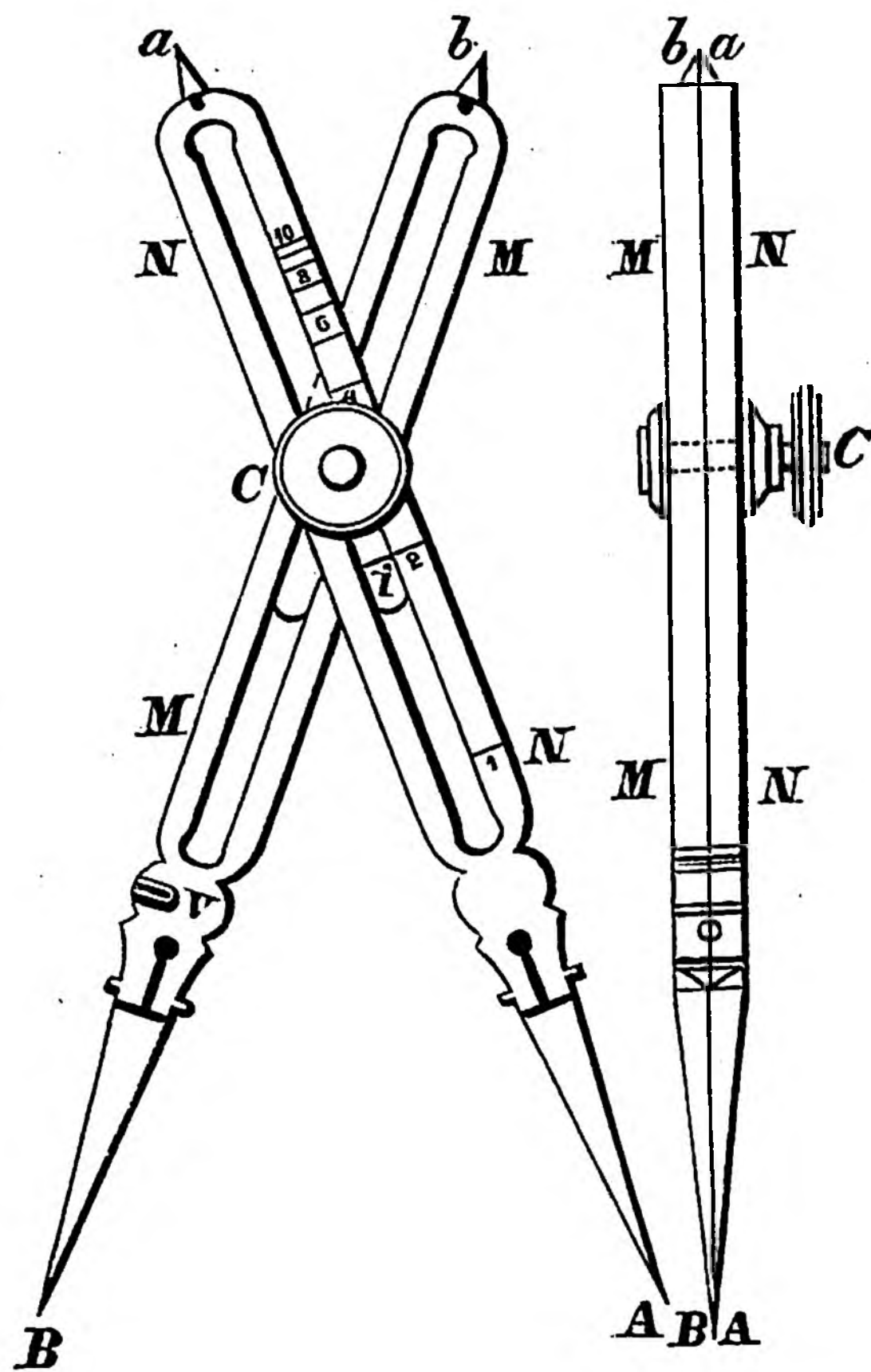
$$C'a' : C'A' = a'b : A'B;$$

и отношеніе  $a'b : A'B$  уже не будетъ равно предыдущему отношенію  $k : o$ , а какому нибудь другому  $k' : o'$ . Это показываетъ, что если взять двѣ линіи  $Aa$  и  $Bb$  и заставить ихъ вращаться около точки ихъ пересѣченія  $C$ , то отношеніе  $ab : AB$ , равное отношенію  $Ca : CA$ , будетъ одно и то же до тѣхъ поръ, пока не измѣнится положеніе точки пересѣченія линій; съ измѣненіемъ же мѣста пересѣченія линій измѣнится какъ отношеніе

Черт. 137.



Черт. 138.



$ab : AB$ , такъ и равное съ нимъ отношеніе  $Ca : CA$ . Пропорціональный циркуль состоитъ изъ двухъ равныхъ между собою пластинокъ  $M$  и  $N$  (черт. 138) съ прорѣзами, вращающихся около общей оси  $C$ , на которую навинчена гайка. Пластины эти, представляющія ножки циркуля, оканчиваются остриями:  $A$ ,  $B$ ,  $a$  и  $b$ . Ось  $C$  можетъ быть передвижима вдоль прорѣзовъ, если только предварительно сдвинуть вмѣстѣ ножки и ослабить гайку оси  $C$ . Чтобы во время этого передвиженія ножки циркуля не могли скользить одна вдоль другой, на ножкѣ  $M$  сдѣланъ небольшой выступъ  $v$ , а на ножкѣ  $N$  соответственное углубленіе. Если раздвинемъ ножки при какомъ нибудь положеніи оси  $C$ , то на основаніи предыдущей теоріи разстояніе между остриями  $A$  и  $B$  будетъ во



столько разъ болѣе разстоянія между остріями  $a$  и  $b$  во сколько разъ  $CA$  болѣе  $Ca$ . Но такъ какъ отношеніе  $CA : Ca$  должно быть равно данному отношенію  $k : o$ , то нужно знать то мѣсто, на которое слѣдуетъ установить ось  $C$ , чтобы раствореніе  $AB$  относилось къ растворенію  $ab$ , какъ  $k : o$ . Это достигается тѣмъ, что на пластинкѣ  $N$  съ лицевой ея стороны дѣлаютъ штрихи, подписанные цифрами отъ 1 до 10 (а иногда и до 12), и вмѣстѣ съ осью  $C$  передвигается указатель  $i$ , который можетъ быть приведенъ въ совпаденіе съ этими штрихами; а именно: передъ употребленіемъ пропорціональнаго циркуля сдвигаютъ его ножки вмѣстѣ, ослабляютъ гайку оси  $C$ , передвигаютъ эту ось настолько, чтобы указатель  $i$  стоялъ на штрихѣ, показывающемъ данное уменьшеніе (напр. на штрихѣ 3, если отношеніе  $ab : AB$  должно быть равно  $1 : 3$ ) и наконецъ закрѣпляютъ гайку настолько туго, чтобы раздвиженіе ножекъ циркуля происходило плавно и нельзя было опасаться передвиженія указателя  $i$ . Иногда, кромѣ указанныхъ штриховъ, расположенныхъ по одну сторону прорѣза и подписанныхъ словомъ „Линія“, по другую сторону того же прорѣза имѣются еще штрихи, служащіе для вписыванія въ окружность даннаго радіуса правильныхъ многоугольниковъ съ 6, 7, . . . 20 сторонами и подписанные словомъ „Кругъ“. Употребленіе этихъ послѣднихъ штриховъ таково: положимъ, въ окружность даннаго радіуса надо вписать правильный семиугольникъ; ставятъ указатель  $i$  на штрихѣ 7 и дѣлаютъ раствореніе  $AB$  равнымъ данному радіусу, тогда раствореніе  $ab$  выразитъ длину стороны семиугольника.

Назначеніе мѣстъ штриховъ, служащихъ для уменьшенія линий, дѣлается на основаніи слѣдующаго: обозначимъ длину всей ножки  $Aa$ , которую можно всегда измѣрить непосредственно, чрезъ  $d$ , а части ея  $Ca$  и  $CA$ , соотвѣтствующія заданному отношенію  $k : o$ , чрезъ  $\alpha$  и  $\beta$ , тогда имѣемъ:

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{k}{o}$$

или

$$\frac{d - \beta}{\beta} = \frac{k}{o};$$

откуда

$$\beta = \frac{d \cdot o}{o + k} = \frac{d}{1 + \frac{k}{o}}.$$

Если изъ  $\beta$  вычтемъ разстояніе указателя  $i$  отъ центра  $C$ , которое тоже можно измѣрить непосредственно, то получимъ мѣсто для штриха, соотвѣтствующаго данному уменьшенію.

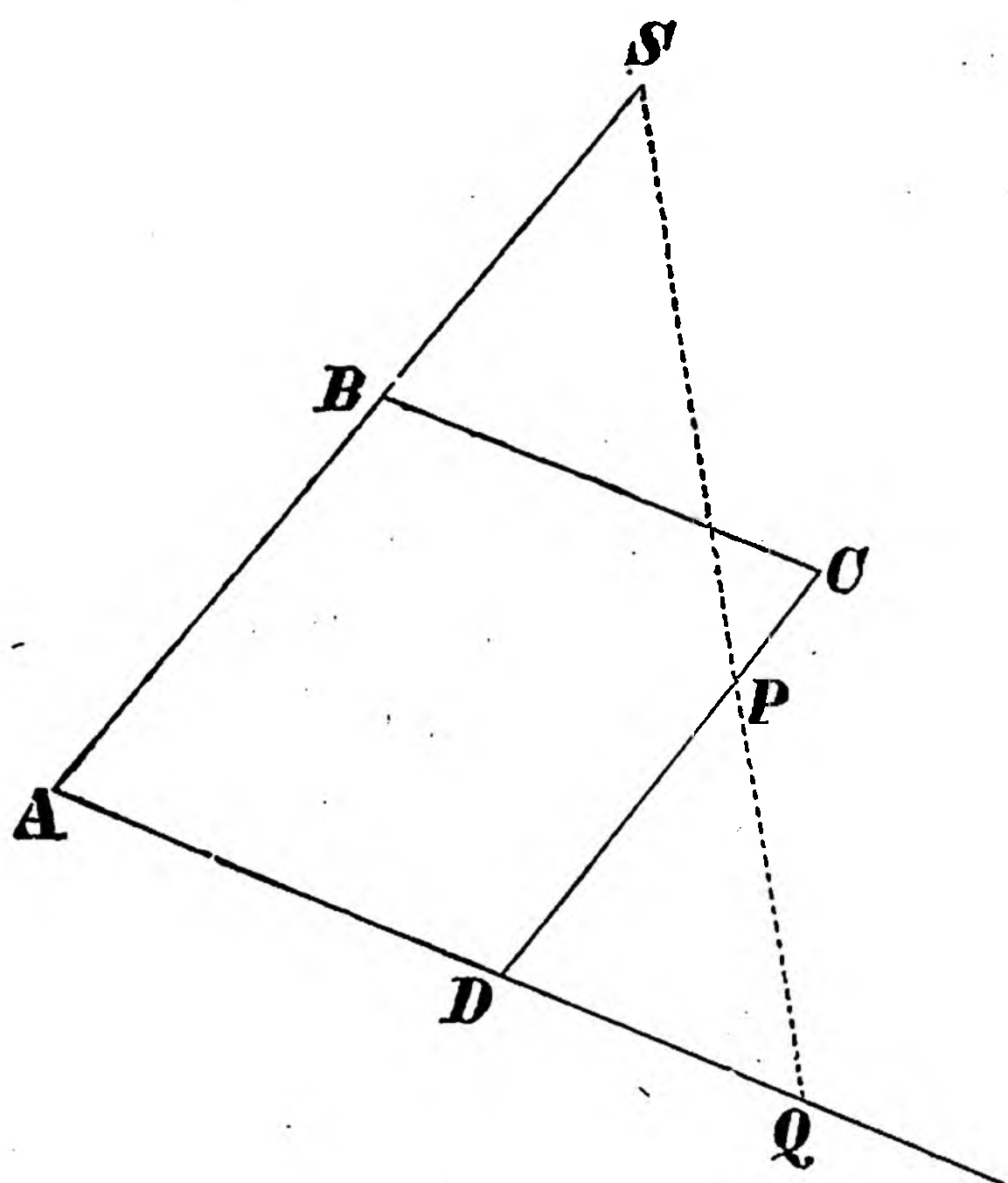
**§ 97.** Перерисовка плановъ производится особымъ снарядомъ, называемымъ *пантографомъ*<sup>1)</sup>, быстрѣе чѣмъ предыдущими способами. Суще-

1) Слово *пантографъ* происходитъ отъ 2-хъ греческихъ словъ: *pantós* — все, всевозможное и *graphein* — описывать, чертить. Пантографъ изобрѣтенъ въ 1603 г. иезуитомъ *Христофоромъ Шеймеромъ* (род. въ 1575 г., ум. въ 1650 г.) и описанъ имъ въ сочиненіи: *Pantographice seu ars delineandi res quasilibet etc. Romae, 1631.*

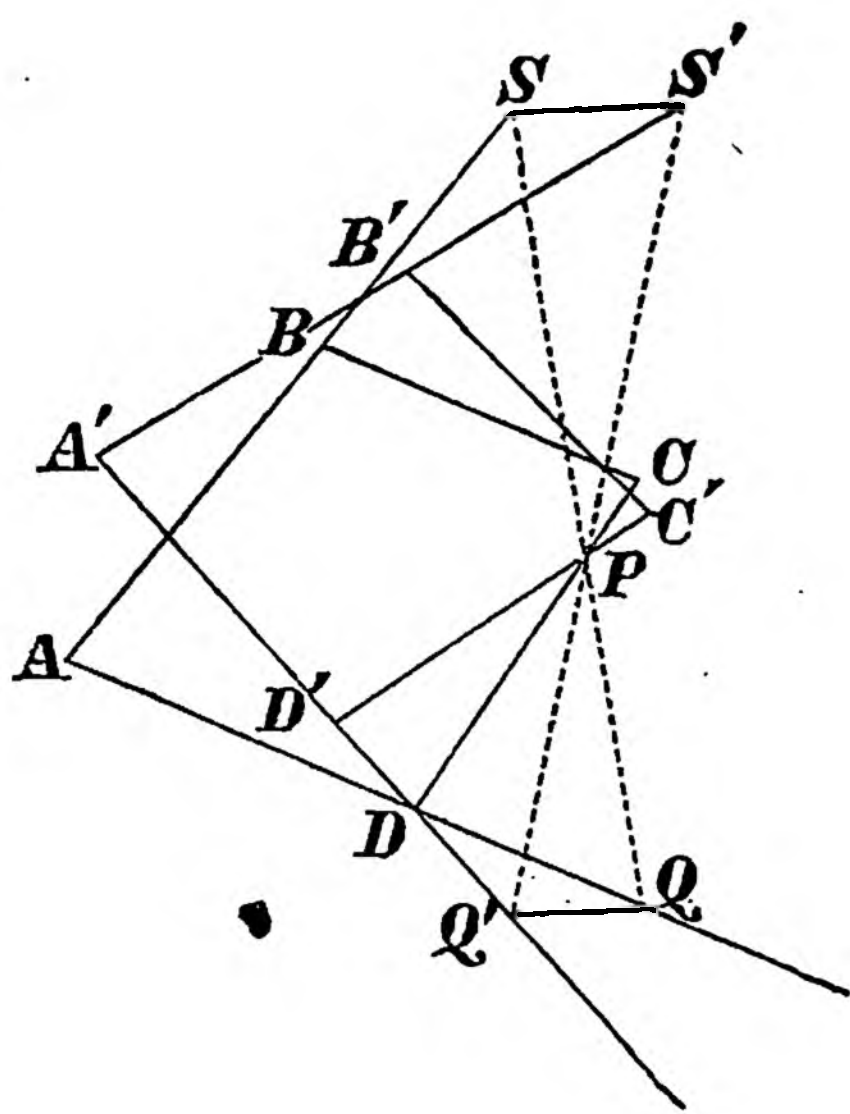
ствуется весьма много системъ пантографовъ; здѣсь же мы остановимся на разсмотрѣннй трехъ изъ нихъ, а именно: одного на колесикахъ — прежней системы и двухъ висячихъ — новѣйшаго устройства.

а) Пантографъ *прежней системы* (на колесикахъ) состоитъ въ общихъ чертахъ изъ четырехъ линеекъ:  $AS$ ,  $AQ$ ,  $BC$  и  $DC$  (черт. 139), соединенныхъ между собою шарнирами въ точкахъ:  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$  и составляющихъ параллелограмъ  $ABCD$ . При употребленнй инструмента вращается около неподвижной точки, полюса  $P$ . Въ точкѣ  $S$  помѣщается шпиль, которымъ обводятъ линнй оригинала, а въ  $Q$  имѣется карандашъ, который чертитъ линнй на копнй. Точки  $S$ ,  $P$  и  $Q$  находятся во все время употребленнй пантографа, какъ увидимъ изъ его теорнй,

Черт. 139.



Черт. 140.



въ одной вертикальной плоскости или, все равно, проекцнй ихъ на плоскость бумаги находятся на одной прямой линнй.

Теорнй этого пантографа состоитъ въ слѣдующемъ: если положимъ, что точки  $S$ ,  $P$  и  $Q$  (черт. 140) установлены сначала на прямой линнй, то изъ подобныхъ треугольниковъ  $AQS$  и  $DQP$  имѣемъ:

$$AQ : DQ = AS : DP = SQ : PQ.$$

Допустимъ теперь, что обводный шпиль  $S$  прошелъ на оригиналъ прямую линнй  $SS'$ ; тогда пантографъ повернется около полюса  $P$  и займетъ положеннй  $S'A'Q'$ , а карандашъ опишетъ на копнй линнй  $QQ'$ . Такъ какъ величины предыдущихъ пропорцнй таковы, что  $AQ = A'Q'$ ,  $DQ = D'Q'$ ,  $AS = A'S'$ ,  $DP = D'P'$ , а  $SQ$  вообще не равно  $S'Q'$  и  $PQ$  не равно  $P'Q'$ , точно также неизвѣстно, что сохранила ли линнй  $S'PQ'$  свою прямолинейность, то мы можемъ написать теперь только два отношеннй:

$$A'Q' : D'Q' = A'S' : D'P.$$

Разсматривая же эту пропорцнй и принимая еще во вниманнй, что уголъ  $S'A'Q' = \text{уг. } PD'Q'$ , заключаемъ, что треугольники  $S'A'Q'$  и  $PD'Q'$  по-

добны; а это, возможно только въ томъ случаѣ, когда линия  $S'PQ'$  есть прямая. Вслѣдствіе этого къ предыдущей пропорціи можемъ приписать третье отношеніе, такъ что будемъ имѣть:

$$A'Q' : D'Q' = A'S' : D'P = S'Q' : PQ'.$$

Сравнивая эти пропорціи съ первыми, имѣемъ:

$$SQ : PQ = S'Q' : PQ';$$

откуда

$$(SQ - PQ) : PQ = (S'Q' - PQ') : PQ'$$

или

$$SP : PQ = S'P : PQ'.$$

Кромѣ того, такъ какъ уголъ  $SPS' = \text{уг. } QPQ'$ , то треугольники  $SPS'$  и  $QPQ'$  подобны. А потому линіи  $QQ'$  и  $SS'$  между собою параллельны и мы имѣемъ:

$$QQ' : SS' = PQ : PS.$$

Такъ какъ то же самое можно доказать для всѣхъ линій, обведенныхъ шпилемъ и прочерченныхъ карандашемъ, то, слѣдовательно, карандашъ  $Q$  рисуетъ всегда фигуры подобныя фигурамъ, обводимымъ шпилемъ  $S$ . Наконецъ вслѣдствіе того, что въ послѣдней пропорціи отношеніе  $QQ' : SS'$  есть отношеніе линіи копии къ линіи оригинала, которое обыкновенно дано и которое мы обозначаемъ чрезъ  $k : o$ , можемъ написать:

$$PQ : PS = PQ' : PS' = k : o.$$

И такъ, изъ предыдущей теоріи, кромѣ указаннаго уже подобія фигуръ, чертимыхъ шпилемъ и карандашемъ, слѣдуетъ, что во все время употребленія пантографа линія  $SPQ$  остается прямою, а отношеніе  $PQ : PS$  остается постояннымъ и равно данному отношенію  $k : o$ .

Полюсъ  $P$  можетъ быть передвигаемъ вдоль линейки  $DC$ , а карандашъ  $Q$  — вдоль линейки  $DQ$ . Обозначая не измѣняющіяся длины  $AD$  и  $AS$  соответственно чрезъ  $d$  и  $\delta$ , длины  $DQ$  и  $DP$  — чрезъ  $x$  и  $y$  и данное отношеніе линіи копии къ линіи оригинала — чрезъ  $k : o$ , изъ треугольниковъ  $ASQ$  и  $DPQ$  имѣемъ:

$$x = d \frac{PQ}{PS} \qquad y = \delta \frac{PQ}{PQ + PS}.$$

Но  $\frac{PQ}{PS} = \frac{k}{o}$ , поэтому  $\frac{PQ}{PQ + PS} = \frac{k}{k + o}$

и  $x = d \frac{k}{o} \qquad y = \delta \frac{k}{k + o}.$

Если величины  $d$  и  $\delta$  для даннаго пантографа извѣстны, то по этимъ равенствамъ можно вычислить  $x$  и  $y$ ; а это нужно для того, чтобы по-

ставить карандашъ  $Q$  на линейкѣ  $DQ$  и полюсъ  $P$  на линейкѣ  $DC$  такъ, чтобы линіи обводимыя шпилемъ  $S$  и карандашомъ  $Q$  находились въ данномъ между собою отношеніи  $k : o$ .

Если взаимно перемѣнить мѣста полюса  $P$  и карандаша  $Q$ , то при обведеніи шпилемъ  $S$  по линіи  $SS'$  (черт. 141) оригинала пантографъ изъ положенія  $SAP$  перейдетъ въ  $S'A'P$  и карандашъ прочертитъ на копіи линію  $QQ'$ ; при чемъ путемъ предыдущаго доказательства придемъ къ тому, что

$$PQ : PS = PQ' : PS' = k : o.$$

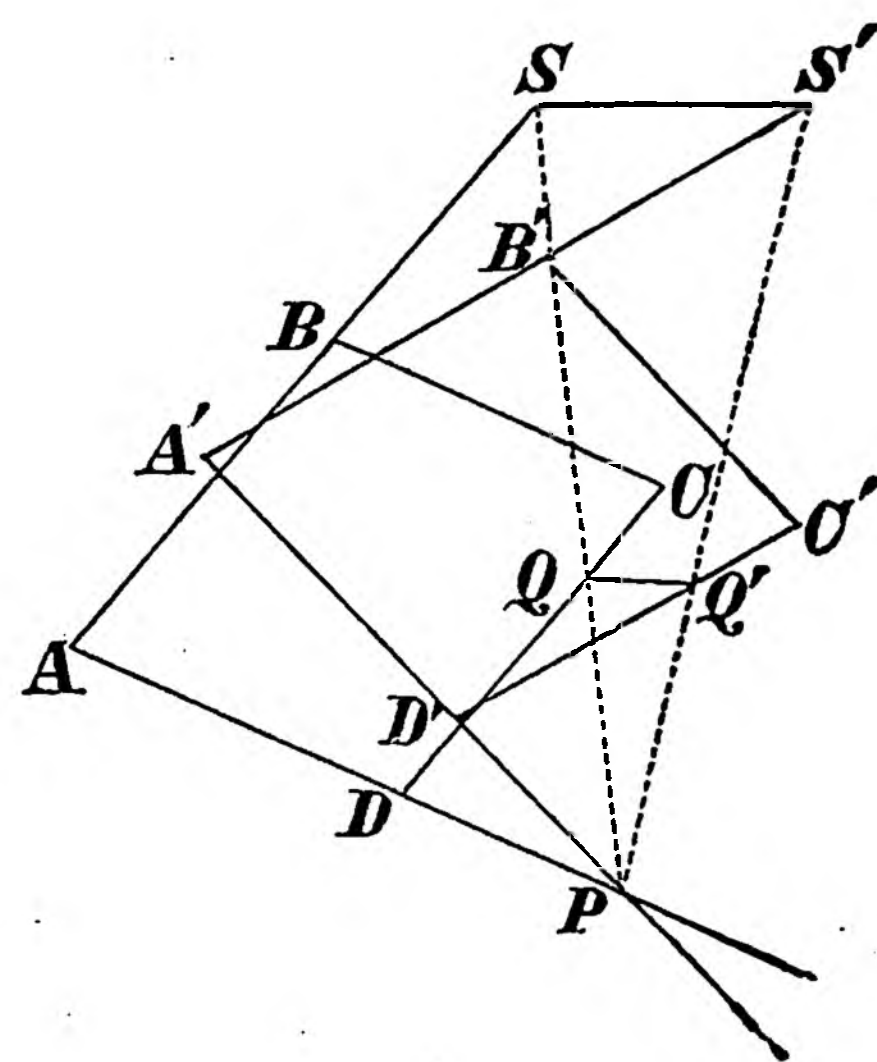
Обозначивъ же  $DP$  чрезъ  $x$ , а  $DQ$  чрезъ  $y$ , имѣемъ:

$$x = d \frac{k}{o - k} \quad y = \delta \frac{k}{o},$$

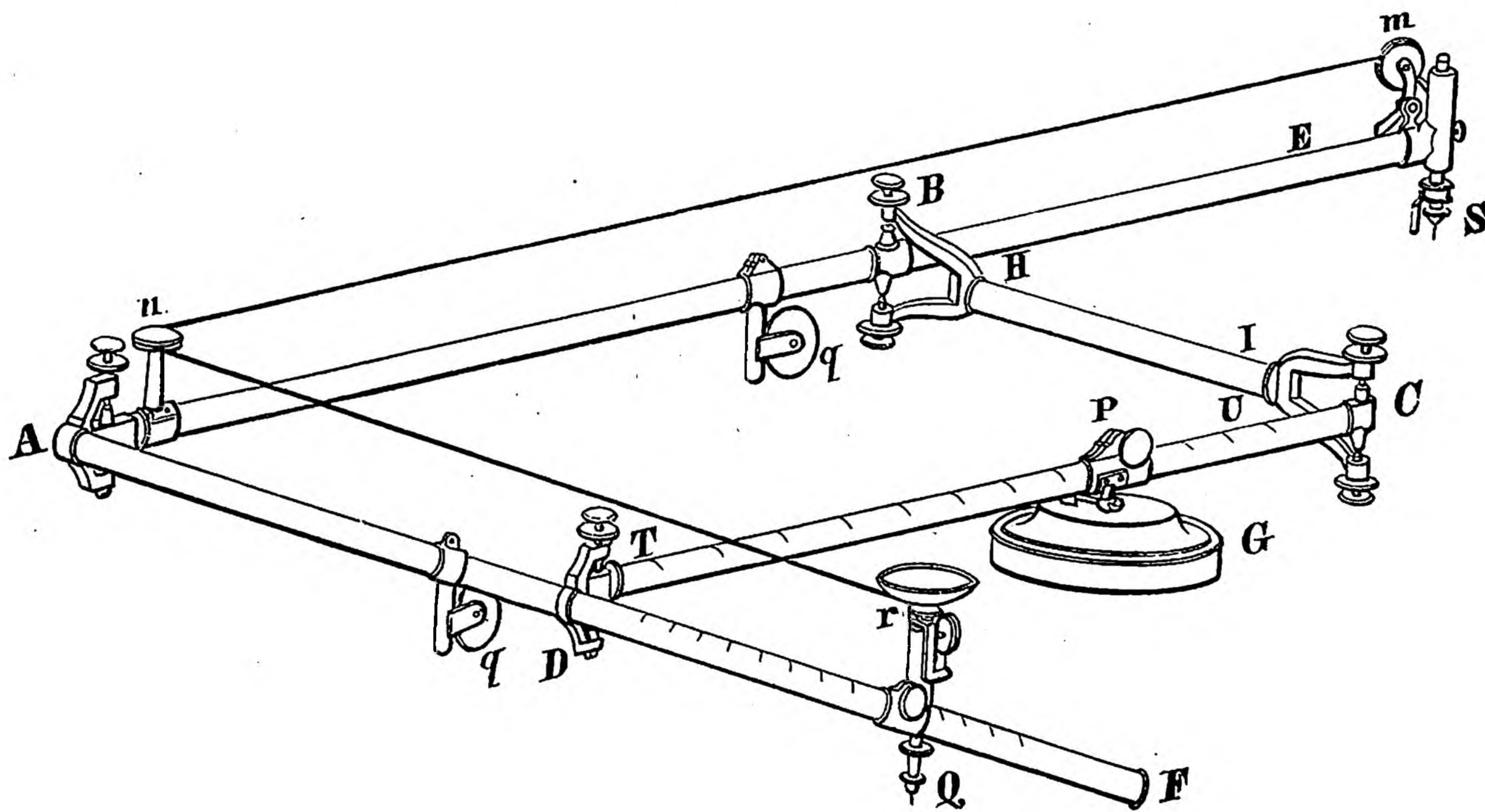
гдѣ  $\frac{k}{o}$  есть данное отношеніе линіи копіи къ линіи оригинала.

Черт. 142 представляетъ въ перспективѣ изображеніе пантографа прежней системы, на колесикахъ, устройства швейцарскаго механика Керна; при чемъ буквы, имѣющіяся на черт. 140, поставлены на тѣхъ же

Черт. 141.



Черт. 142.

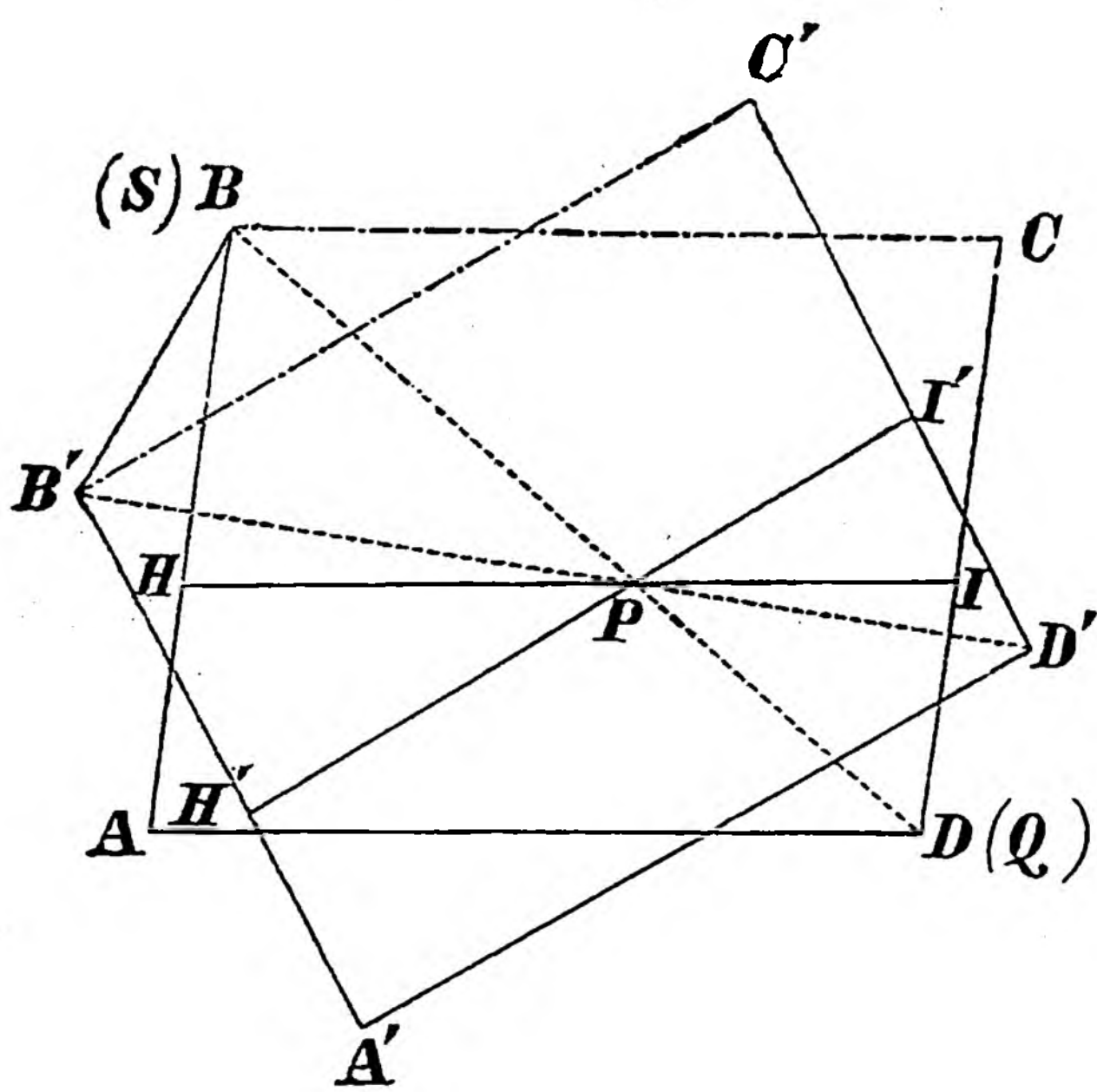


мѣстахъ. Четыре мѣдныя линейки  $AE$ ,  $AF$ ,  $HI$ ,  $TU$  скрѣплены между собою шарнирами въ точкахъ  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$ . На концѣ линейки  $AE$  прикрѣпленъ неподвижно цилиндръ съ обводнымъ шпилемъ  $S$ , а по линейкамъ  $DF$  и  $TU$  могутъ быть передвигаемы цилиндры съ карандашомъ  $Q$  и осью вращенія  $P$  пантографа, которая утверждена въ свинцовой тяжести  $G$ , имѣющей снизу три небольшія острія, вдавливаемыя въ столъ. Эта тяжесть удерживаетъ полюсъ  $P$  въ неподвижномъ поло-

женіи во время работы. При вращеніи пантографа около полюса линейки его передвигаются на костяныхъ колесахъ  $q$  и  $q$ , катающихся по столу. Конецъ нити  $mnr$ , обернутой около двухъ блоковъ и проходящей къ цилиндру съ карандашемъ  $Q$ , держится чертежникомъ въ рукѣ у обводнаго шпилья  $S$ ; самая нить предназначается для того, чтобы, потянувъ ее, приподнять карандашъ  $Q$  въ то время, когда шпиль  $S$  переводится съ одного контура на другой и когда, слѣдов., карандашъ не долженъ чертить на копіи. Опустивъ нить, конецъ карандаша будетъ опять касаться бумаги, такъ какъ сверху цилиндра съ карандашемъ имѣется чашка съ небольшою гирькою, заставляющею цилиндръ опуститься. Чтобы не вычислять величинъ, обозначенныхъ въ теоріи чрезъ  $x$  и  $y$ , на линейкахъ  $TU$  и  $DF$  назначаются штрихи, соотвѣтствующіе различнымъ значеніямъ отношенія  $k : o$ .

б) Въ другой системѣ пантографовъ, извѣстныхъ подъ названіемъ

Черт. 143.



*миланскихъ* или пантографовъ *Гавара*, обводный шпиль  $S$  и карандашъ  $Q$  (черт. 143) помѣщаются соотвѣтственно въ вершинахъ  $B$  и  $D$  параллелограмма  $ADCB$ , на рычагахъ котораго  $AB$ ,  $AD$  и  $DC$  имѣются шарниры въ точкахъ  $H$ ,  $A$ ,  $D$  и  $I$ . Полюсъ  $P$  расположенъ на линейкѣ  $HI$ , параллельной  $BC$  и  $AD$ , такъ что онъ находится вмѣстѣ съ тѣмъ и на діагонали  $BD$ . Предполагая, что линія  $VPD$  была сначала прямою, изъ обоихъ положеній пантографа тѣми же рассужденіями, что и въ предыдущей теоріи, придемъ къ слѣдующимъ пропорціямъ:

$$AB : BH = AD : HP = BD : BP \\ A'B' : B'H' = A'D' : H'P = B'D' : B'P.$$

Откуда

$$BD : BP = B'D' : B'P$$

или

$$DP : BP = D'P : B'P.$$

Послѣ чего имѣемъ:

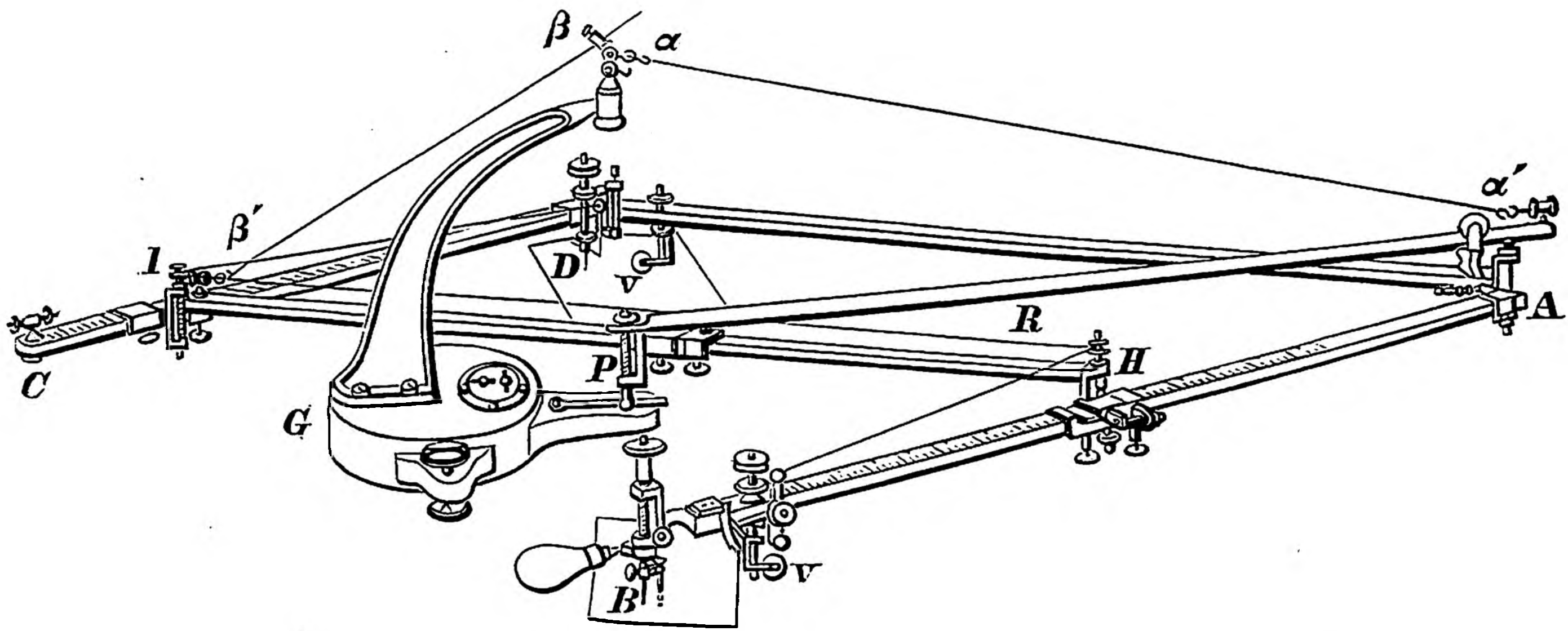
$$DP : BP = D'P : B'P = k : o.$$

Линейка  $HI$  передвигается по линейкамъ  $AB$  и  $DC$  параллельно самой себѣ, а полюсъ  $P$  передвигается по линейкѣ  $HI$ . Если неизмѣняющіяся длины  $AB$  и  $AD$  обозначимъ чрезъ  $d$  и  $\delta$ , а величины  $BH$  и  $HP$ , соотвѣтствующія данному отношенію  $k : o$ , чрезъ  $x$  и  $y$ , то

$$x = d \frac{o}{k + o} \quad y = \delta \frac{o}{k + o}.$$

На черт. 144 изображенъ миланскій пантографъ устройства баварскихъ механиковъ *Оттз* и *Коради*, рычаги котораго, обозначенные здѣсь тѣми же буквами, что и въ теоріи, привѣшаны посредствомъ двухъ проволокъ  $\alpha\alpha'$  и  $\beta\beta'$  къ верхней части тяжести (журавля)  $G$ . Въ точкахъ соединенія  $A$ ,  $H$ ,  $I$  и  $D$  рычаговъ имѣются шарниры, а въ точкахъ  $B$  и  $D$  помѣщаются обводный шпиль и карандашъ. По

Черт. 144.

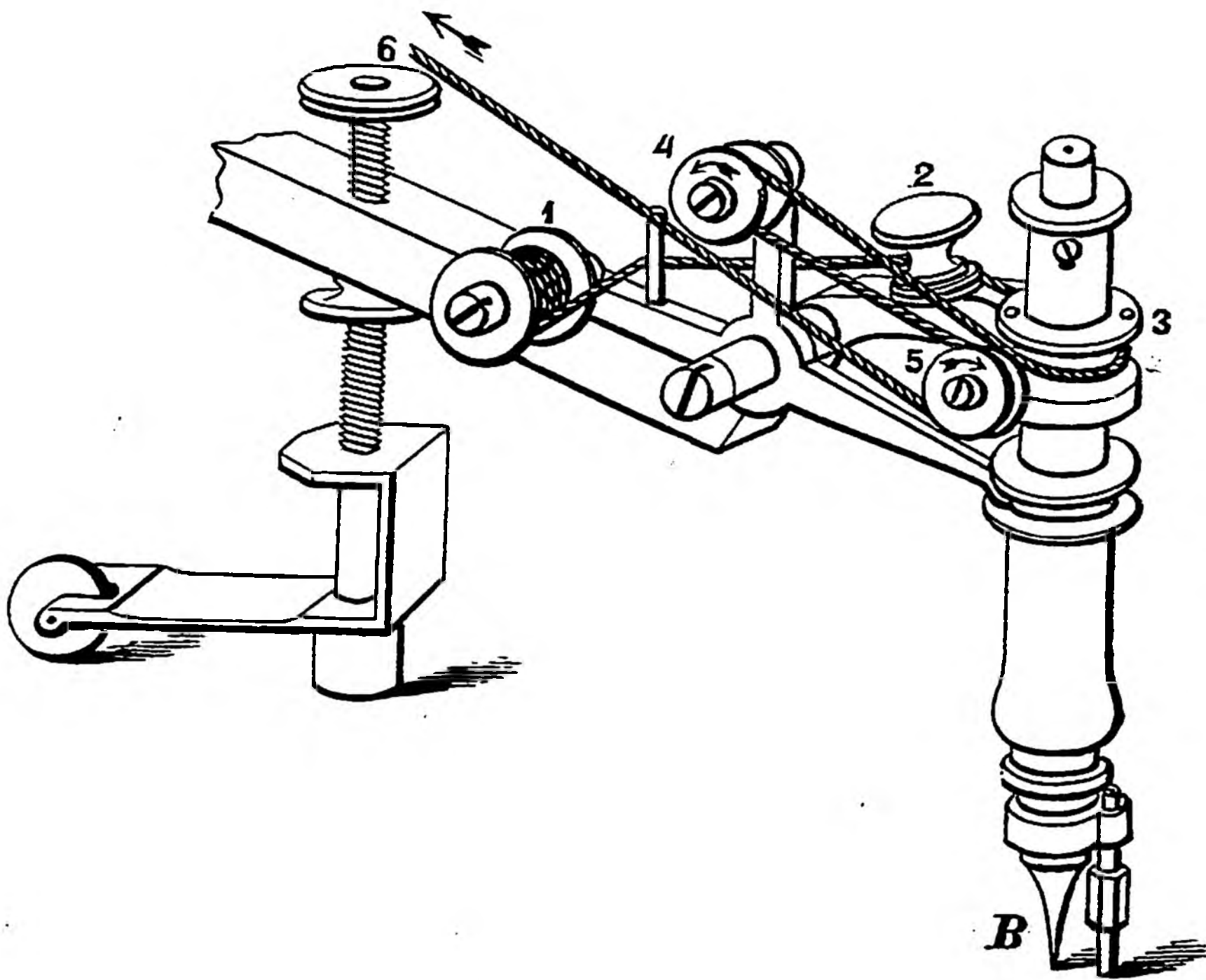


рычагу  $HI$  передвигается муфточка съ полюсомъ  $P$ , который представляет собою шаръ, вложенный въ углубленіе журавля  $G$  и задвинутый особой скобой. Рычагъ  $HI$  можетъ быть передвигаемъ параллельно самому себѣ и закрѣпленъ на рычагахъ  $DC$  и  $AB$ . Линія, соединяющая верхнюю часть журавля съ центромъ шара  $P$  и служащая осью вращенія пантографа, должна быть вертикальна, что достигается посредствомъ двухъ подъемныхъ винтовъ и уровня, имѣющихся на нижней части журавля. Рычагъ  $R$ , который поддерживаетъ на вѣсу часть пантографа, лежащую вправо отъ линіи  $VPD$ , однимъ своимъ концомъ прикрѣпленъ къ цилиндру съ полюсомъ  $P$ , а другой его конецъ подсунуть подъ роликъ, помѣщенный на рычагѣ  $AD$  вблизи шарнира  $A$ . Рычаги  $BA$ ,  $CD$  и  $HI$  раздѣлены по всему своему протяженію на миллиметры и кромѣ того на нихъ нанесены штрихи для перерисовки плановъ въ данномъ отношеніи отъ  $\frac{2}{3}$  до  $\frac{1}{1}$  и отъ  $\frac{1}{1}$  до  $\frac{3}{2}$ , такъ что посредствомъ этого пантографа можно уменьшать данный планъ, перерисовать его съ сохраненіемъ масштаба и увеличивать. Понятно, что это послѣднее дѣйствіе, вслѣдствіе неизбежнаго сотрясенія руки при обведеніи по линіямъ оригинала и другихъ погрѣшностей, не можетъ быть произведено съ тою же точностью, какъ два первыхъ дѣйствія. Наконецъ, нужно еще сказать, что вблизи обводнаго шпиля  $B$  прикрѣпленъ одинъ конецъ нити, проходящей чрезъ блоки надъ шарнирами  $H$  и  $I$  и укрѣпленной другимъ концомъ при карандашѣ  $D$ . Эта нить служитъ для прекращенія дѣйствія карандаша во время перевода обводнаго шпиля съ одного контура на другой. На черт. 145, представляющемъ рычагъ съ обводнымъ шпилемъ  $B$ , показанъ способъ прикрѣпленія нити вблизи этого шпиля. Изъ этого чертежа видно,

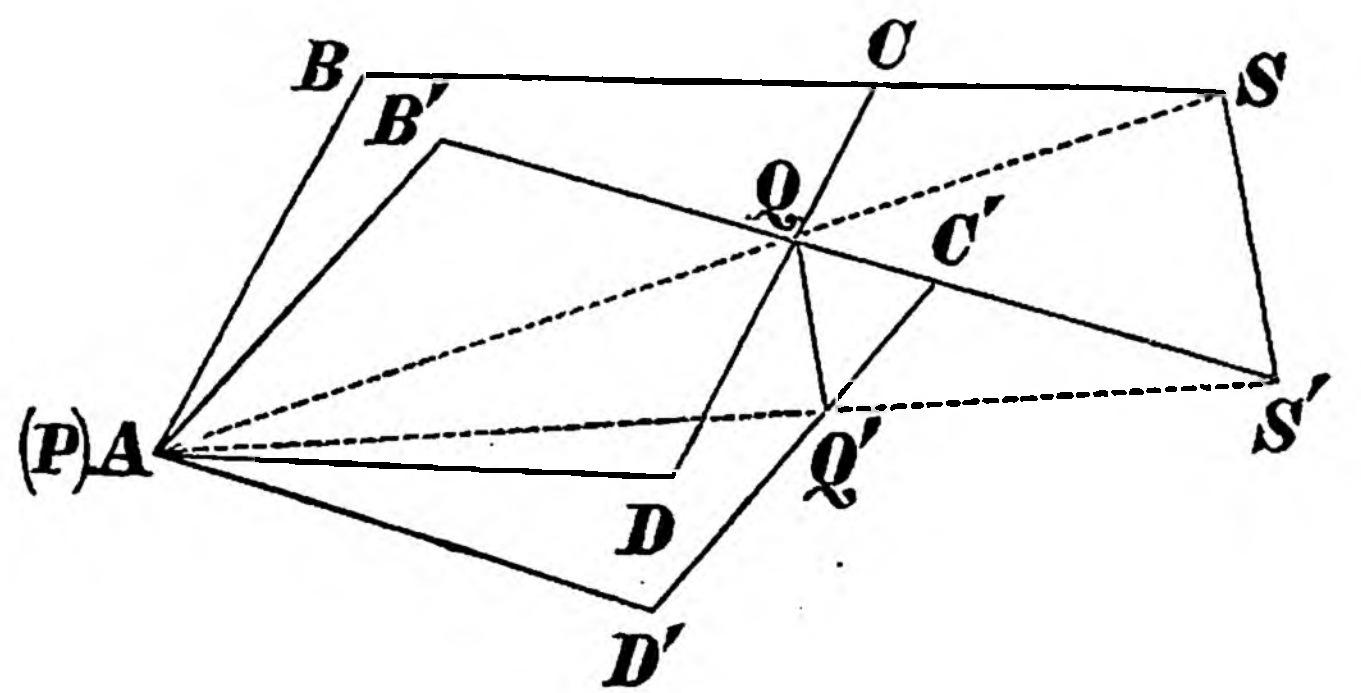
что нить, прикрѣпленная и обернутая нѣсколько разъ около валика 1, идетъ затѣмъ послѣдовательно черезъ блоки 2, 3, 4, 5 къ 6 и далѣе по указанному на черт. 144.

Для уменьшенія плановъ въ отношеніи отъ  $\frac{1}{20}$  до  $\frac{1}{5}$  взаимно перемѣщаются полюсъ  $P$  и карандашъ  $D$ ; тогда получится пантографъ, теорія котораго изложена въ нижеслѣдующемъ пунктѣ  $c$ . Впрочемъ для тѣхъ же уменьшеній устраиваются и отдѣльные пантографы.

Черт. 145.



Черт. 146.



с) Въ третьей системѣ пантографовъ полюсъ  $P$  помѣщается въ вершинѣ  $A$  параллелограмма  $ABCD$  (черт. 146), а карандашъ  $Q$  и обводный шпиль  $S$  на рычагахъ  $DC$  и  $BS$  такъ, что линия  $AQS$  есть прямая. Послѣ передвиженія обводнаго шпиля изъ  $S$  въ  $S'$ , будемъ имѣть изъ двухъ паръ треугольниковъ:  $ABS, QCS$  и  $AB'S', Q'C'S'$  пропорціи

$$BS : CS = AB : QC = AS : QS$$

$$B'S' : C'S' = AB' : Q'C' = AS' : Q'S'$$

Вслѣдствіе чего

$$AS : QS = AS' : Q'S'$$

$$(AS - QS) : AS = (AS' - Q'S') : AS'$$

$$AQ : AS = AQ' : AS' = k : o.$$

Если затѣмъ постоянныя длины  $BS$  и  $AB$  обозначимъ чрезъ  $d$  и  $\delta$ , а переменныя величины  $CS$  и  $QC$  чрезъ  $x$  и  $y$ , то

$$x = d \frac{QS}{AS} = d \frac{AS - AQ}{AS}$$

$$y = \delta \frac{QS}{AS} = \delta \frac{AS - AQ}{AS},$$

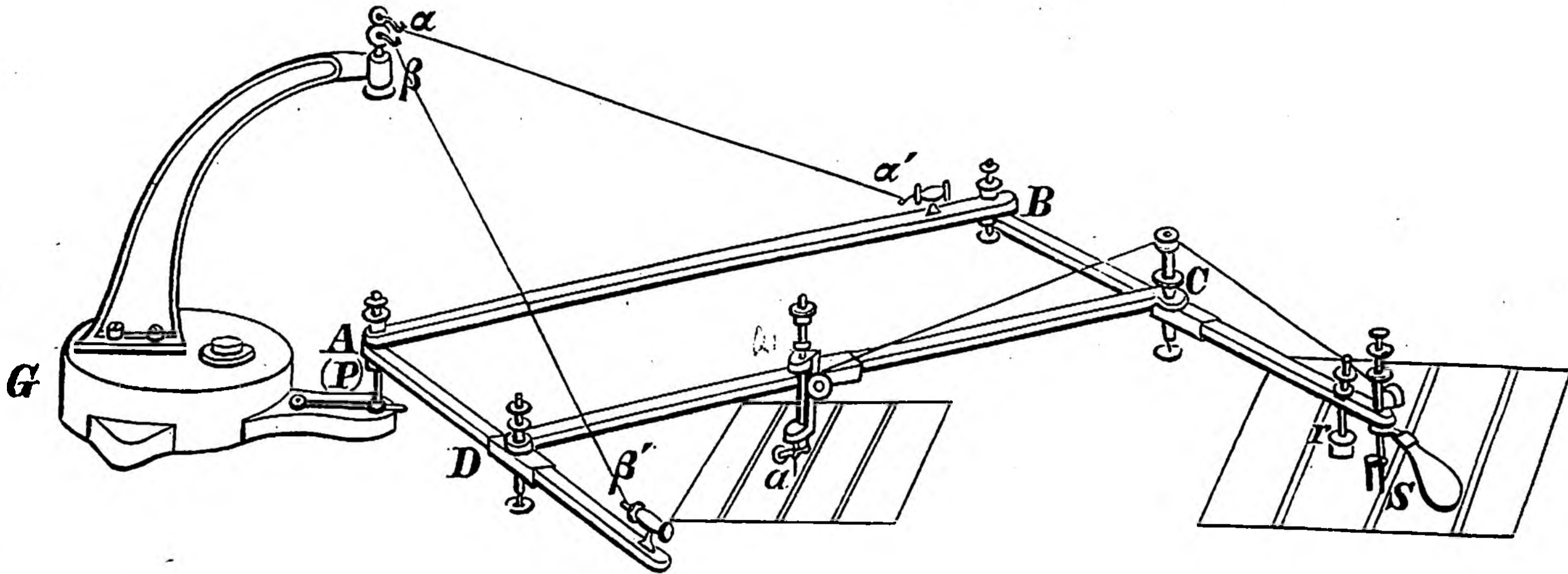
или

$$x = d \left(1 - \frac{k}{o}\right) \quad y = \delta \left(1 - \frac{k}{o}\right).$$

Устройство пантографа этой системы, принадлежащее тѣмъ же механикамъ *Оттз* и *Коради*, можно видѣть на черт. 147, на которомъ опять сохранены буквы чертежа 146. Въ этомъ пантографѣ, висящемъ на проволокахъ  $\alpha\alpha'$  и  $\beta\beta'$ , карандашъ  $Q$  передвигается вдоль линейки  $DC$ , а эта послѣдняя передвигается параллельно самой себѣ по рычагамъ  $AD$  и  $BS$  и можетъ быть при нихъ закрѣпляема.

Изъ трехъ описанныхъ въ предыдущемъ пантографовъ, послѣдніе два имѣютъ преимущество передъ первымъ, потому что они, вслѣдствіе

Черт. 147.



отсутствія колесиковъ и обладая болѣе мягкимъ и плавнымъ движеніемъ, требуютъ при перерисовкѣ меньшаго мѣста, такъ какъ рычаги ихъ могутъ заходить даже за края стола, а самый журавль можетъ быть помѣщенъ и на отдѣльномъ столѣ. Кромѣ того, при употребленіи ихъ достигается большая тщательность копій, а слѣдов. и точность.

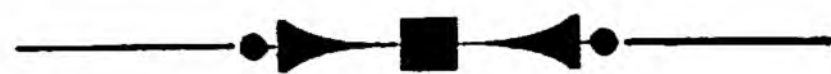
§ 98. При употребленіи пантографовъ нуженъ столъ, верхняя поверхность котораго была бы по возможности плоскостью, приведенною хотя приблизительно въ горизонтальное положеніе. Ставятъ тяжесть  $G$ , въ случаѣ пантографовъ черт. 142 и 144, по срединѣ стола, а при пантографѣ черт. 147 — на одномъ изъ его концовъ; при чемъ въ двухъ послѣднихъ пантографахъ приводятъ ось вращения въ вертикальное положеніе при помощи уровня журавля. Если уровень невѣренъ, то ось вращения не будетъ вертикальна въ то время, когда пузырекъ его занимаетъ средину; поэтому нужно отъ времени до времени, поставивъ журавль (безъ рычаговъ) на столъ, дѣлать повѣрку уровня. Для этого приводятъ пузырекъ уровня на средину, отдѣляютъ рычагъ  $AD$  отъ другихъ, подвѣшиваютъ его на проволоку  $\beta\beta'$ , ставятъ на него маленькій цилиндрической уровень (который прикладывается къ каждому экземпляру инструмента), приводятъ пузырекъ его на средину посредствомъ удлиненія или укорачиванія проволоки и поворачиваютъ рычагъ въ горизонтальной плоскости: если при этомъ пузырекъ уровня на рычагѣ будетъ все время занимать средину, то уровень журавля вѣренъ; въ противномъ случаѣ, дѣйствуя подъемными винтами, приводятъ на средину пузырекъ уровня рычага, а исправительными винтами приводятъ на средину пузырекъ уровня журавля. Послѣ того, вынувъ



инструментъ изъ ящика и сдѣлавъ установку, соответствующую заданному отношенію  $k : o$ , прикрѣпляютъ его къ тяжести, а пантографы чертежей 144 и 147 привѣшиваютъ кромѣ того на проволокахъ  $\alpha\alpha'$  и  $\beta\beta'$ ; при чемъ, ослабляя или завинчивая гайки винтовъ, соединенныхъ съ этими проволоками, можно посредствомъ маленькаго уровня привести въ горизонтальное положеніе рычаги  $DC$  и  $R$  (черт. 144) или рычаги  $AB$  и  $AD$  (черт. 147); переставивъ затѣмъ уровень на рычаги  $AD$  и  $AB$  (черт. 144), приводятъ ихъ въ горизонтальное положеніе поднимая или опуская колесики  $v, v$ , а рычагъ  $BS$  (черт. 147) устанавливается горизонтально посредствомъ подпоры  $r$ . Наконецъ, для провѣрки горизонтальности рычаговъ ставятъ уровень на рычагъ  $HI$  (черт. 144) или на рычагъ  $DC$  (черт. 147).

Для самой перерисовки кладутъ оригиналь подъ обводный шпиль и, прикрѣпивъ его къ столу сначала временно, чертятъ на бумагѣ копию рамку, стороны которой были бы въ данномъ отношеніи со сторонами рамки оригинала. Затѣмъ передвигаютъ бумагу копию, а иногда и оригиналь, пока при совпаденіи обводнаго шпиля съ тремя вершинами рамки оригинала, карандашъ будетъ помѣщаться на соответственныхъ вершинахъ рамки копию. По совершеніи этого, оригиналь и копія прикрѣпляются къ столу кнопками настолько крѣпко, чтобы они не могли измѣнять положенія во время перерисовки. Въ этомъ убѣждаются отъ времени до времени, помѣщая обводный шпиль опять въ три вершины рамки оригинала.

Если оригиналь настолько великъ, что не можетъ быть перерисованъ заразъ, то копируютъ его по частямъ.

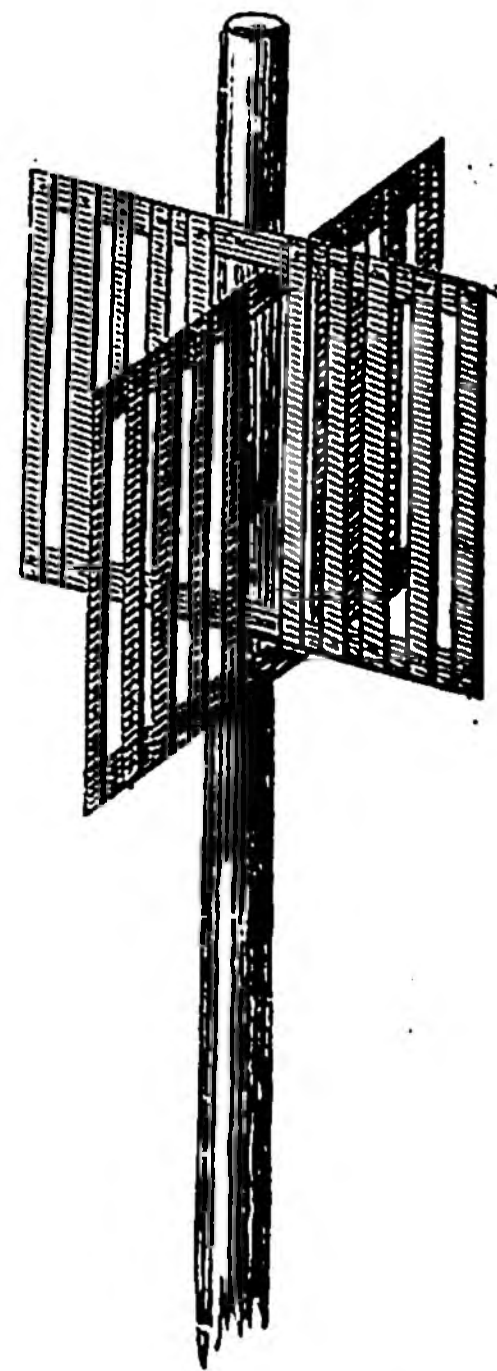


## ГЛАВА III.

### Обозначеніе точекъ и измѣреніе линій на мѣстности.

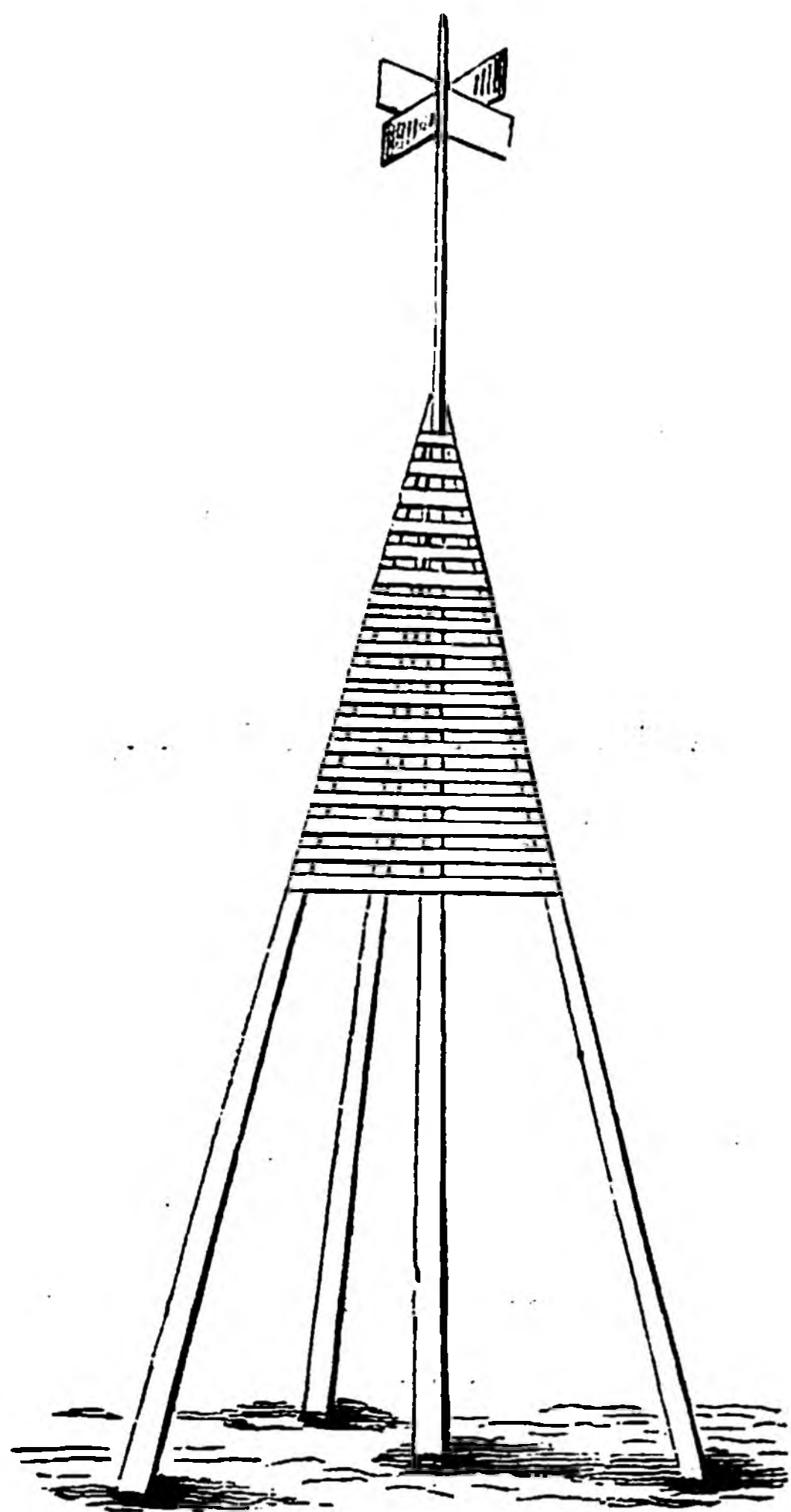
§ 99. Точки мѣстности, подлежащія изображенію на планѣ и вообще необходимыя для производства съемки, должны быть сдѣланы видимыми на нѣкоторомъ другъ отъ друга разстояніи, что достигается постановкою на нихъ болѣе или менѣе высокихъ сигналовъ. Сигналы бываютъ или *естественные*, или *искусственные*; естественный сигналъ, напр. колокольня, церковь, башня, отдѣльно стоящее дерево, выдѣляющійся домъ (флагштокъ, конекъ или труба его), скворечникъ и т. п., есть такой предметъ, который имѣетъ свое собственное значеніе, помимо цѣлей съемки; сигналъ же искусственный ставится единственно для съемки. Въ низшей геодезіи искусственными сигналами служатъ или вѣхи вышиною отъ 1 до 3 саж. съ діаметромъ отъ 1 до 3 дюймовъ, или столбы вышиною до 5 саж., а толщиною до 10 дюймовъ. Столбы врываются нижнимъ концомъ въ землю по крайней мѣрѣ на 1 аршинъ, а къ верхнему концу для лучшей видимости сигнала издали прикрѣпляются двѣ перпендикулярныя между собою четырехугольныя рамы, которыя заполняются рѣшетками (черт. 148). Для предохраненія столбовъ отъ умышленной порчи или даже похищенія, они красятся по казенному образцу — винтообразно черною и бѣлою красками, отдѣленными одна отъ другой красной каймой. Во избѣжаніе расшатыванія или паденія высокихъ столбовъ отъ дѣйствія вѣтра, дѣлаются 3—4 подпоры (черт. 149), промежутокъ между которыми забирается наверху тесомъ, что и замѣняетъ собою перпендикулярныя четырехугольники. Иногда для постановки угломѣрнаго инструмента отвѣсно подъ вершиною такого сигнала, часть столба, на высотѣ отъ земли 0,5 сажени, выпиливается. Въ мѣстностяхъ безлѣсныхъ, гдѣ стоимость высокихъ столбовъ велика, сигналы можно складывать изъ камня или земли и на верху ихъ втыкать вѣху или деревцо (черт. 150).

Черт. 148.

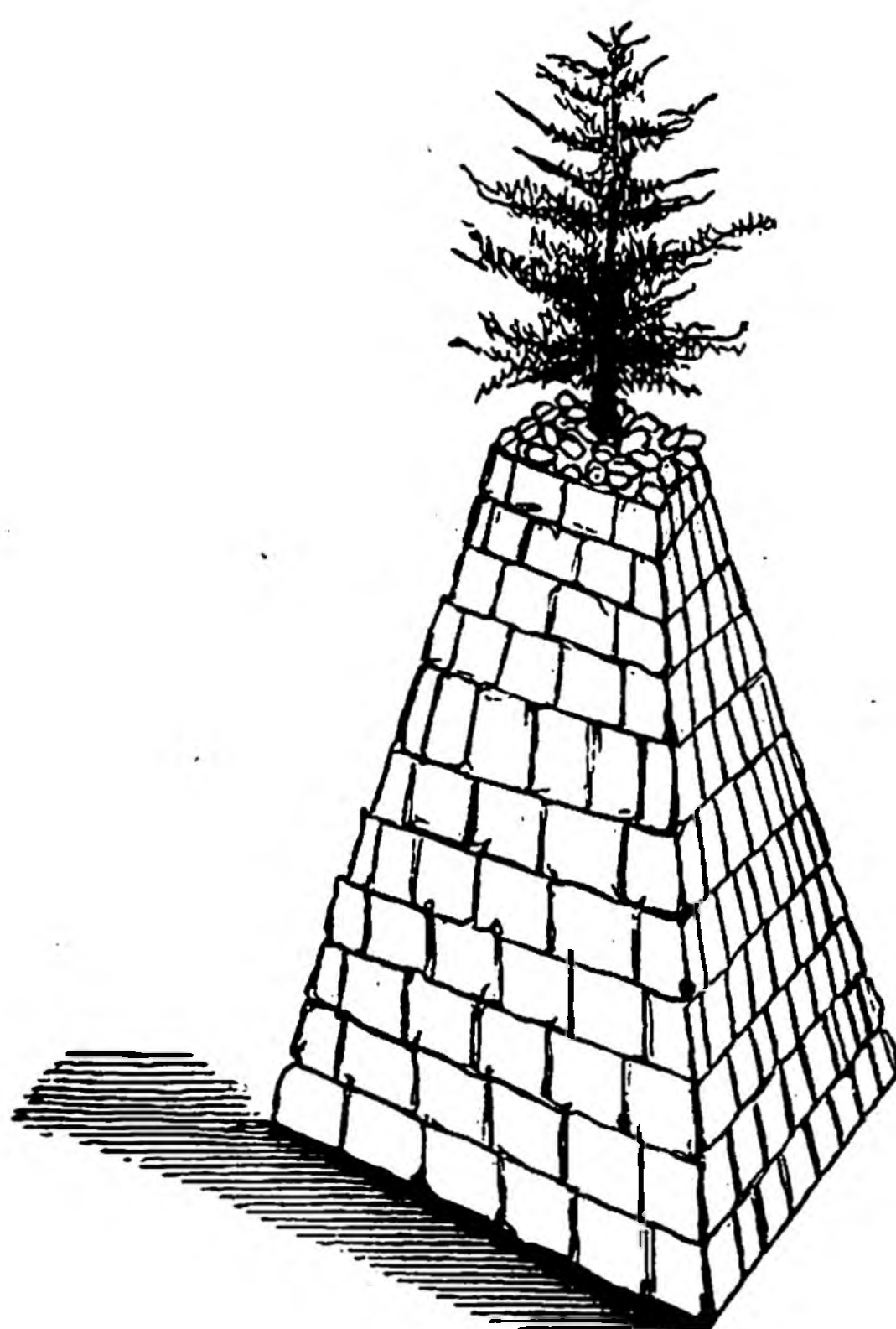


Вѣха снизу заостряется или, что еще лучше, снабжается желѣзнымъ наконечникомъ, а къ верхнему концу ея прикрѣпляется какой нибудь значекъ: флагъ, пучекъ соломы или хвороста, двѣ перпендикулярныя

Черт. 149.

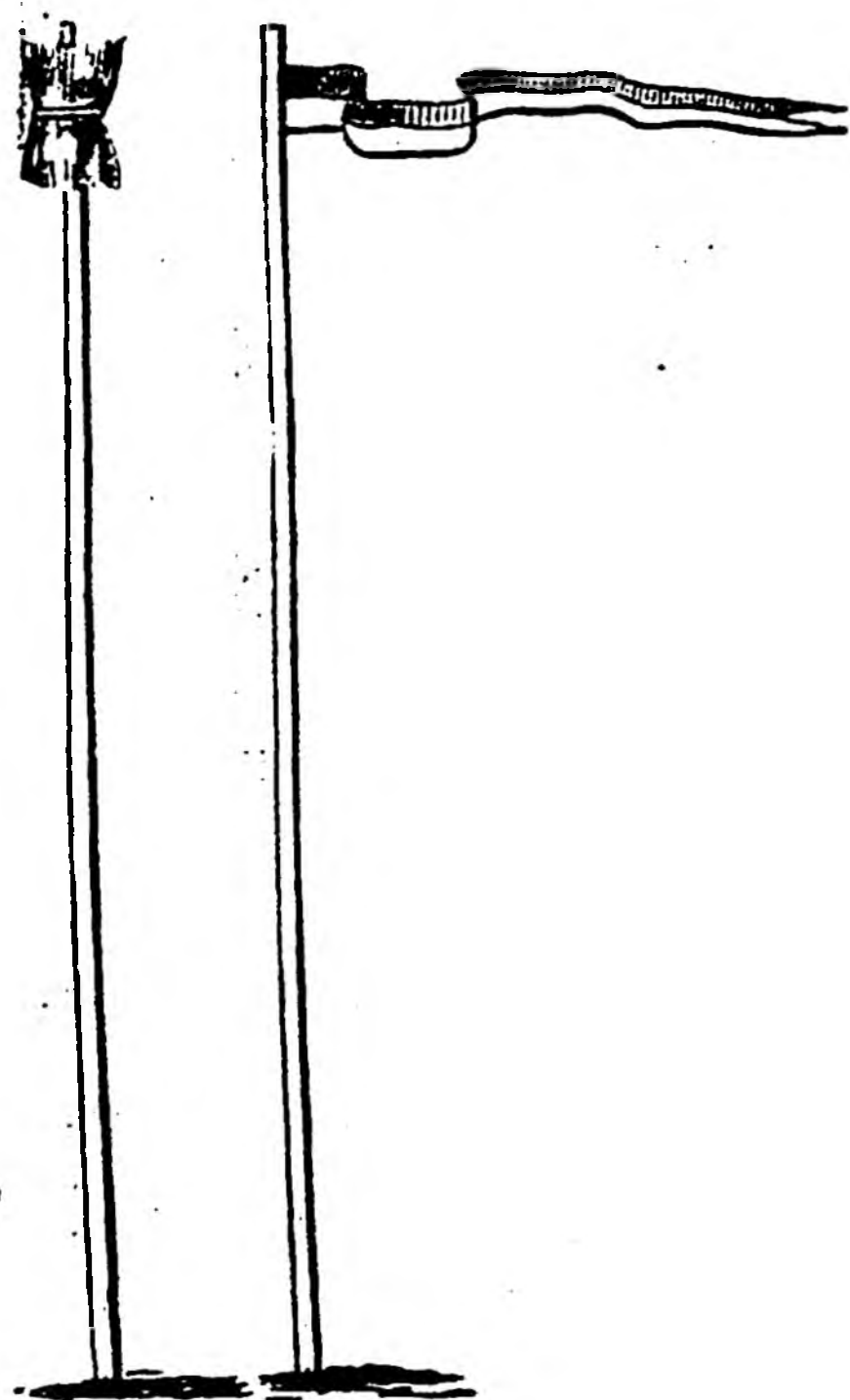


Черт. 150.



между собою доски и т. п. (черт. 151). (На одной и той же мѣстности у различныхъ вѣхъ дѣлаются различные значки для возможности отличія ихъ издали одной отъ другой).

Черт. 151.

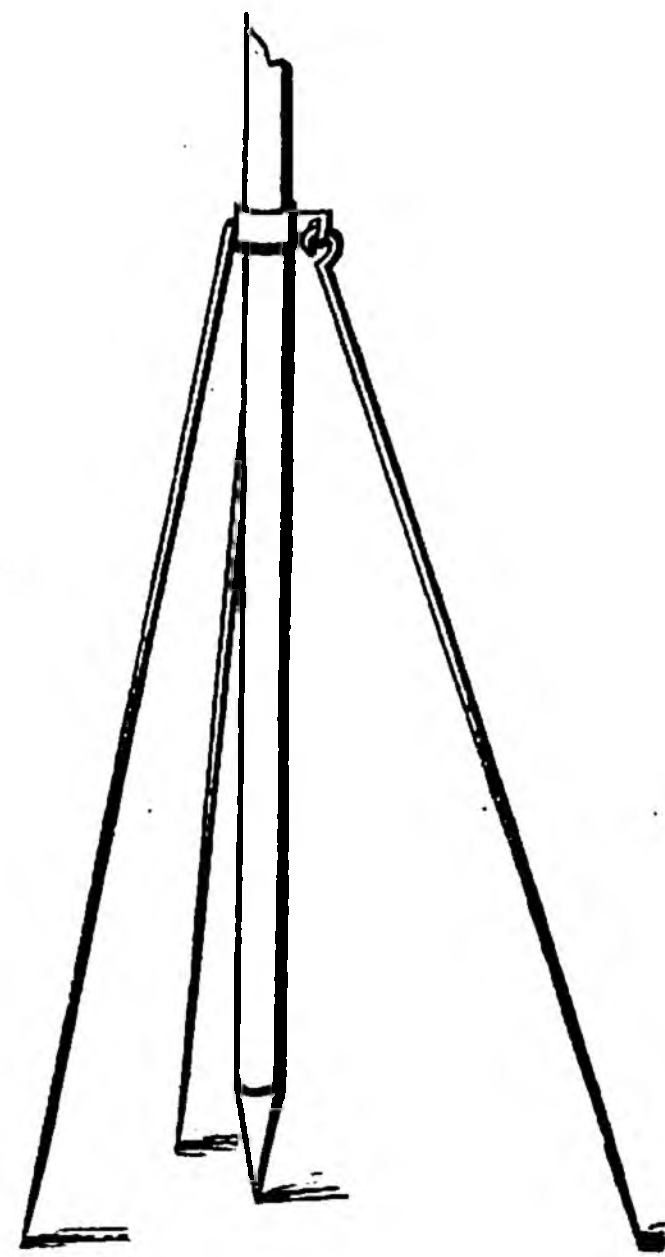


Столбы и вѣхи должны стоять вертикально; въ чемъ убѣждаются по двумъ перпендикулярнымъ направлениямъ посредствомъ отвѣса, отойдя отъ сигнала на нѣсколько шаговъ и держа нить его между глазомъ и сигналомъ такъ, чтобы она или дѣлила пополамъ видимую часть сигнала, или къ ней касалась. Вертикальная постановка вѣхи можетъ быть достигнута проще, хотя и менѣе точно; а именно: берутъ вѣху между двухъ пальцевъ, выше ея центра тяжести, предоставляютъ ей самой принять отвѣсное положеніе и, раздвинувъ пальцы, даютъ ей возможность воткнуться въ землю. Повторивъ это нѣсколько разъ и помогая вѣхѣ постепенно углубляться въ землю, можно достигнуть прочнаго вертикальнаго ея положенія. При постановкѣ вѣхъ въ городахъ

на мостовой и вообще на каменистомъ грунтѣ, полезно употреблять подставку (треногу), изображенную на черт. 152, устанавливая при

этомъ вѣху по отвѣсу посредствомъ ножекъ этой подставки. Вѣха, поставленная вертикально, измѣняетъ свое положеніе отъ вѣтра и другихъ причинъ; вслѣдствіе чего, чтобы неотвѣсное ея положеніе оказывало наименьшее вліяніе, визируютъ обыкновенно на низъ вѣхи, уклоненіе котораго разумѣется менѣе. Если имѣется въ виду производить работу на одной и той же мѣстности продолжительное время, то слѣдуетъ озаботиться о болѣе тщательномъ изготовленіи вѣхъ, а именно, онѣ должны быть оструганы и для лучшей видимости покрашены попеременно чрезъ 0,1 часть сажени бѣлою и красною (или черною) красками. Раздѣленіе вѣхи на десятыя доли сажени дѣлается затѣмъ, чтобы иногда, за недостаткомъ подъ-руками болѣе точнаго мѣрительнаго снаряда, она могла быть употреблена для небольшихъ измѣреній. Бѣлая окраска вѣхи необходима на случай проектированія ея на темный грунтъ, а красная — при проектированіи на свѣтлый. Повторяемъ, что такое остругиваніе и окрашиваніе вѣхи примѣнимо только при продолжительной съемкѣ въ одномъ и томъ же мѣстѣ; въ противномъ случаѣ, на это потратится слишкомъ много времени, а перевозка такихъ вѣхъ съ мѣста на мѣсто неудобна, хлопотлива и дорога.

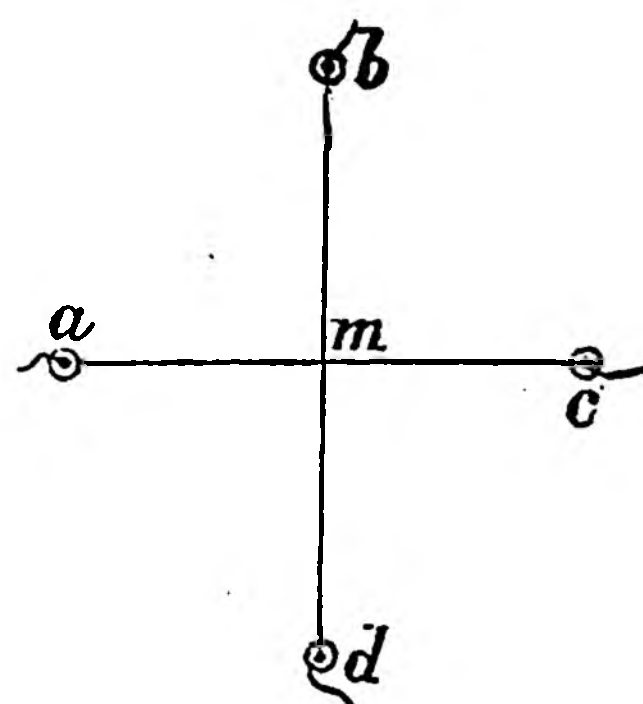
Черт. 152.



По окончаніи съемки вѣхи снимаются, а сигналы оставляются на мѣстности для пользованія ими при всѣхъ съемкахъ, могущихъ производиться впоследствии.

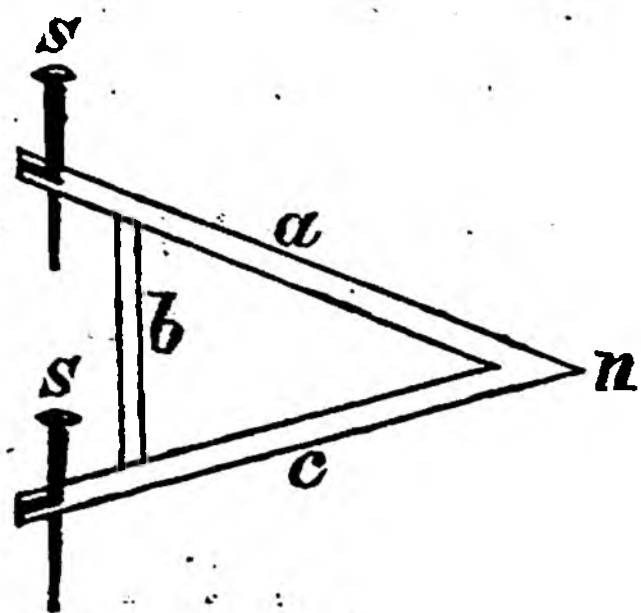
Кромѣ этихъ постоянныхъ точекъ земной поверхности, видимыхъ издали, на мѣстности оставляются еще и такія, которыя могутъ быть видимы только вблизи или которыя зарываются въ землю на нѣкоторую глубину. Предметами для обозначенія такихъ пунктовъ служатъ или большіе камни съ сдѣланными на нихъ замѣтками, въ видѣ креста, круга и т. п., или дренажныя трубы, углубленныя въ землю вертикально. Точка пересѣченія линій креста, центръ круга или центръ круговаго основанія трубы должны находиться отвѣсно надъ или подъ тѣмъ пунктомъ мѣстности, который хотятъ замѣтить. Для достиженія этого въ недалекомъ разстояніи отъ пункта забиваютъ 4 кола и на верхушкахъ ихъ назначаютъ точки *a*, *b*, *c*, *d* (черт. 153) такъ, чтобы точка *m* пересѣченія бечевокъ, соединяющихъ *a*, *b*, *c*, *d* крестообразно, находилась надъ даннымъ пунктомъ мѣстности; затѣмъ отнимаютъ бечевки, дѣлаютъ на землѣ яму для помѣщенія предмета съ замѣткою и передвигаютъ его до тѣхъ поръ, пока точка предмета, долженствующая представлять пунктъ мѣстности, будетъ находиться отвѣсно подъ точкою *m* пересѣченія вновь натянутыхъ бечевокъ. Для той же цѣли удобнѣе пользоваться особымъ желѣзнымъ треугольникомъ, который состоитъ изъ

Черт. 153.



трехъ накрѣпко связанныхъ между собою брусковъ  $a$ ,  $b$ ,  $c$  (черт. 154).

Черт. 154.



Если въ пунктѣ мѣстности, въ которомъ стояла сначала вѣха, надо помѣстить нѣкоторую точку камня, то положивъ на землю желѣзный треугольникъ такъ, чтобы вершина его  $n$  совмѣщалась съ пунктомъ мѣстности, забиваютъ *относно* двѣ шпильки  $s$  и  $s$  въ прорѣзы, сдѣланные на концахъ брусковъ  $a$  и  $c$ ; послѣ чего треугольникъ снимается и, сдѣлавъ на землѣ въ надлежащемъ мѣстѣ углубленіе,

укладываютъ въ него камень, чтобы вершина  $n$  треугольника, приложеннаго такимъ же образомъ къ шпилькамъ  $s$  и  $s$ , совмѣщалась съ выбранною точкою камня. Понятно, что если камень долженъ быть помѣщенъ на нѣкоторой глубинѣ подъ земною поверхностью, то вертикальное положеніе замѣченной точки камня подъ вершиною  $n$  можетъ быть достигнуто посредствомъ отвѣса, опущеннаго съ этой вершины.

Къ числу постоянныхъ предметовъ мѣстности, особо обозначаемыхъ, принадлежатъ границы поземельныхъ владѣній, на которыхъ помѣщаются *межевые знаки*: столбъ, яма и межникъ. *Межевой столбъ*, ставимый на точкахъ поворота границы, дѣлается изъ прямаго, обнаженнаго отъ коры, деревяннаго бревна указанныхъ закономъ размѣровъ. Верхній конецъ его стесывается въ видѣ усѣченнаго конуса, а нѣсколько ниже вырубается грань, на которой выжигается или государственный гербъ, или другой какой установленный знакъ. Нижній конецъ столба вкапывается въ землю. вмѣсто деревянныхъ столбовъ дозволяется ставить каменные четырехугольной формы и такой же вышины, какъ и деревянные, а въ степныхъ мѣстахъ можно, за отсутствіемъ лѣса, вмѣсто столбовъ копать треугольныя ямы. Впередъ по межѣ, въ разстояніи 1 сажени отъ столба, выкапывается четырехугольная *межевая яма*, различные размѣры которой указываются закономъ и опредѣляются степенью важности границы. Въ каждую изъ этихъ ямъ вкладываются дикіе камни и уголь, какъ матеріалъ мало подвергающійся разрушенію. Межевыя ямы способствуютъ отысканію мѣстъ постановки столбовъ, въ случаѣ утраты этихъ послѣднихъ отъ времени. Въ мѣстахъ, затопляемыхъ водою, яма по вложеніи въ нее камней и угляевъ засыпается землею, которая покрывается дерномъ, образуя такимъ образомъ небольшой курганъ. *Межникъ* есть узкая полоса земли одинаковой ширины по обѣимъ сторонамъ линіи, соединяющей межевые столбы, поставленные на ея концахъ. Межникъ по обѣимъ его сторонамъ обѣзжается сохами или плугами; ширина межника опредѣляется закономъ. Въ лѣсахъ вмѣсто межниковъ дѣлаютъ просѣки.

§ 100. Прямая линія обозначается на мѣстности двумя сигналами, поставленными на ея концахъ. Если линія длинна, то для удобства измѣренія нужно ее *провѣшѣть*. *Провѣшѣть* линію значитъ поставить на мѣстности рядъ вѣхъ такъ, чтобы оси ихъ находились въ одной отвѣсной плоскости, проходящей чрезъ данныя точки.

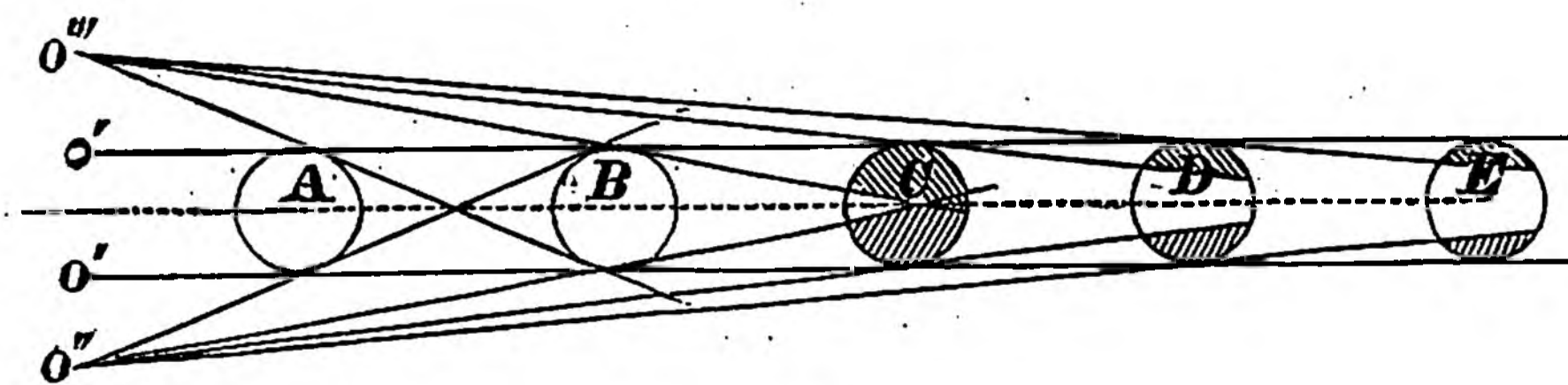
Простѣйшіе и наиболее часто встрѣчающіеся въ практикѣ случаи вѣшенія линій\*) сводятся къ одному изъ слѣдующихъ двухъ вопросовъ: 1) по двумъ поставленнымъ вѣхамъ продолжить линію и 2) между двумя вѣхами провѣшить линію. Положимъ, что на мѣстности надо продолжить линію, опредѣляющуюся двумя вѣхами, поставленными въ точкахъ *A* и *B* (черт. 155). Для этого съемщикъ, отступивъ отъ вѣхи *B* на разстояніе около 100 шаговъ и остановившись въ *C*, передвигается вправо

Черт. 155.



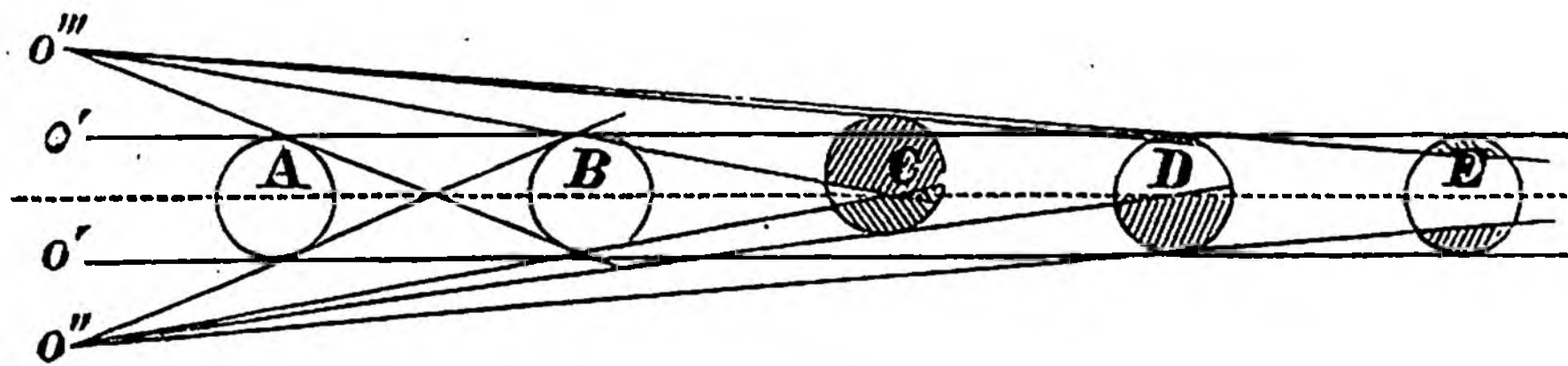
или влево отъ линіи до тѣхъ поръ, пока ближайшая къ нему вѣха *B* будетъ закрывать собою вѣху *A*; затѣмъ съемщикъ втыкаетъ отвѣсно въ *C* вѣху и, отступивъ еще шаговъ на 5, замѣчаетъ — покрываетъ ли вѣха *C* первыя двѣ вѣхи *B* и *A* и не наклонена ли она въ сторону. Исправивъ, если надо, положеніе вѣхи *C*, поступаютъ такимъ же образомъ при новомъ продолженіи линіи. Послѣ того какъ продолженіе окончено, необходимо повѣрить правильность установки вѣхъ. Эта по-вѣрка изображена на чертежахъ 156 и 156 (bis). Она дѣлается такъ:

Черт. 156.



съемщикъ отодвигаетъ свой глазъ *o'* (черт. 156) вправо или влево отъ линіи настолько, чтобы лучъ зрѣнія былъ касательнымъ ко всѣмъ поставленнымъ вѣхамъ: *A*, *B*, *C*, *D*, *E*; если этого сдѣлать нельзя и лучъ или не касается какой нибудь вѣхи, или будучи касательнымъ къ нѣкоторымъ изъ нихъ, пересѣкаетъ напр. вѣху *C* (черт. 156 bis), то эта послѣдняя поставлена не на мѣстѣ. Еще лучше въ невѣрной постановкѣ вѣхи *C* можно убѣдиться изъ передвиженія глаза въ *o''* или въ *o'''*; а именно, при вѣрномъ стояніи вѣхъ (черт. 156) изъ точекъ *o''* и *o'''* видна

Черт. 156 (bis).



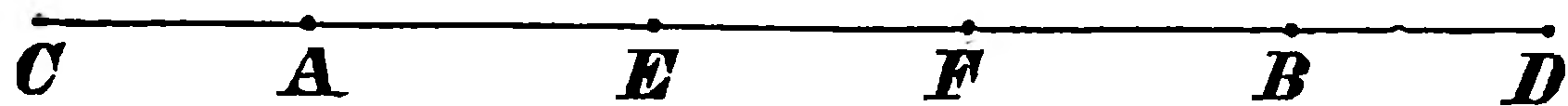
тѣмъ большая часть вѣхи, чѣмъ она ближе къ съемщику, тогда какъ при невѣрномъ стояніи вѣхи *C* (черт. 156 bis) изъ *o''* видна часть вѣхи *D*, большая чѣмъ часть вѣхи *C*, а изъ *o'''* видна часть вѣхи *E*, большая

\*) Особые случаи проведенія линій значительной длины, требующіе сложныхъ геодезическихъ приѣмовъ, излагаются ниже въ главѣ о разбивкѣ длинныхъ прямыхъ линій.

части вѣхи *D*. Такъ какъ вѣхи не стоятъ точно отвѣсно, потому что отъ дѣйствія вѣтра и другихъ причинъ онѣ уклоняются нѣсколько верхними своими частями отъ первоначальнаго отвѣснаго положенія, то при производствѣ этой повѣрки лучше убѣдиться въ правильной постановкѣ нижнихъ частей вѣхъ нежели верхнихъ, а для этого надо наклониться по возможности ниже къ землѣ. Когда же основанія вѣхъ не могутъ быть видны вслѣдствіе возвышеній мѣстности, тогда надо обратить вниманіе на отвѣсную постановку вѣхъ. Эта повѣрка всегда приводитъ къ хорошимъ результатамъ.

Перейдемъ теперь къ постановкѣ вѣхъ между двумя данными. Этотъ вопросъ можетъ быть рѣшенъ на основаніи предыдущаго способа продолженія линіи мѣстности. Дѣйствительно, вообразимъ, что между вѣхами *A* и *B* (черт. 157) надо провѣшить линію; тогда сначала продолжаютъ ее въ одну или, еще лучше, въ обѣ стороны и выставляютъ на

Черт. 157.



продолженіяхъ вѣхи *C* и *D*. Затѣмъ по вѣхамъ *C*, *A*, *B* и *D* выставляютъ вѣхи *E* и *F* и, наконецъ, убѣждаются въ вѣрности вѣшенія линіи, произведя предыдущую повѣрку. Этотъ способъ вѣшенія рекомендуется тогда, когда съемщикъ не имѣетъ помощника; но такъ какъ

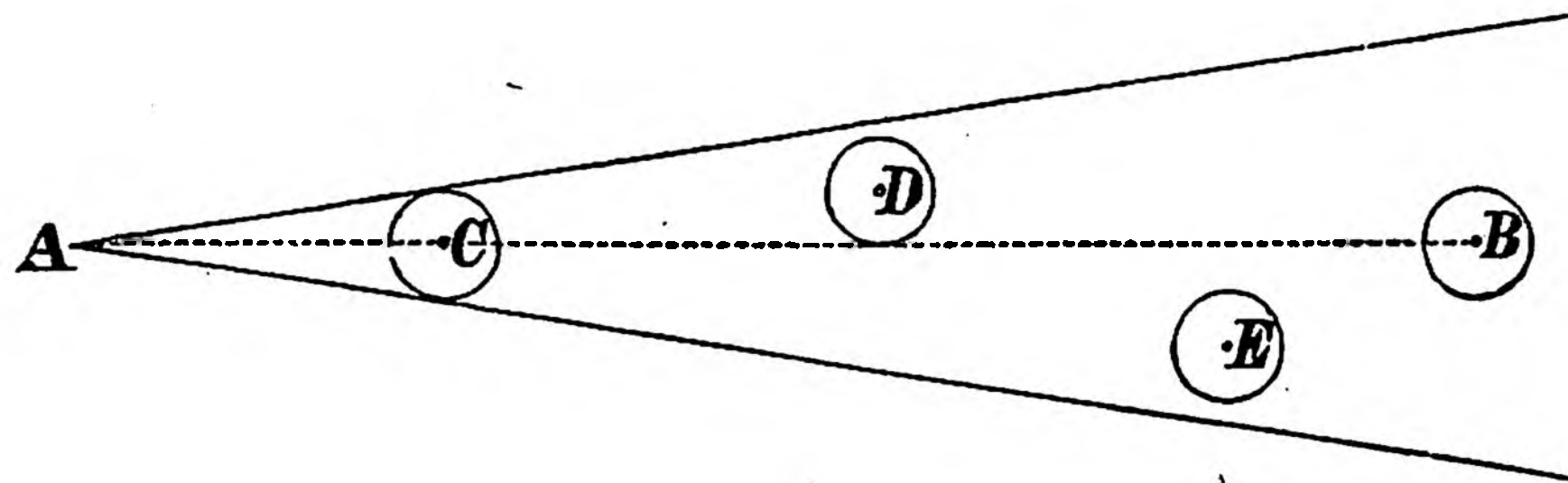
Черт. 158.



по мѣстнымъ препятствіямъ онъ не всегда возможенъ и довольно продолжителенъ, то ему предпочитается другой способъ. Если *A* и *B* (черт. 158) суть точки мѣстности, между которыми требуется провѣшить линію, то въ *B* выставляется вѣха, а въ *A* становится самъ съемщикъ и маханіемъ руки въ ту или другую сторону направляетъ рабочаго съ вѣхою *C* вправо или влево настолько, чтобы она закрывала собою вѣху *B*. При этомъ рабочій долженъ стоять лицомъ къ съемщику и держать вѣху на-вѣсу, выше ея центра тяжести, въ вытянутой въ сторону рукъ. Послѣ того какъ вѣха *C* будетъ покрывать вѣху *B* рабочій по знаку съемщика пускаетъ вѣху, которая падая вслѣдствіе своей тяжести углубится въ землю или сдѣлаетъ на ней замѣтку, чѣмъ и укажетъ рабочему точку, въ которую ее надо воткнуть. Установивъ надлежащимъ образомъ вѣху *C*, рабочій идетъ по линіи и выставляетъ такимъ же образомъ послѣдовательно вѣхи *D*, *E*, . . . . и наконецъ съемщикъ ставитъ вѣху въ точку *A*. Затѣмъ производится повѣрка вѣшенія линіи. Слѣдуетъ обратить вниманіе на то, что при этомъ способѣ вѣшенія линіи постановку вѣхъ всегда надо производить начиная

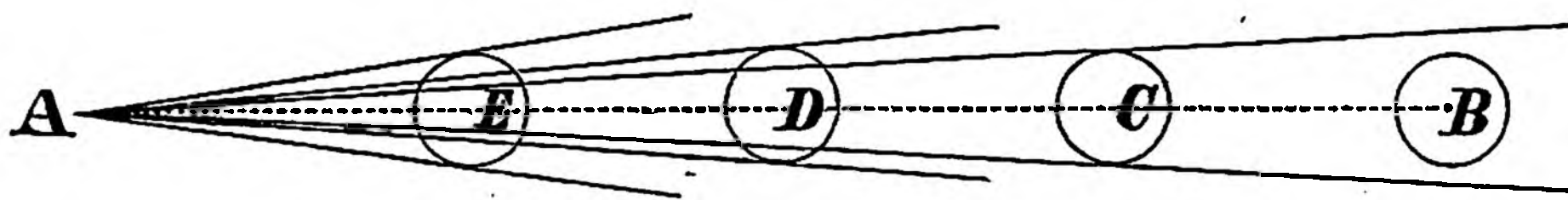
съ дальняго отъ съемщика конца линіи, а не съ ближняго; другими словами, всегда надо вѣшить линію *на* себя, а не *отъ* себя. Причина этого легко объясняется чертежами 159 и 160, на которыхъ *A* пред-

Черт. 159.



ставляетъ глазъ съемщика, а *B* есть выставленная въ концѣ линіи вѣха. Если допустить, что первая вѣха *C* поставлена въ обоихъ случаяхъ точно на линіи *AB*, то при вѣшеніи *отъ* себя (черт. 159) касательныя плоскости къ вѣхѣ *C*, проходящія чрезъ глазъ *A*, отдѣляютъ гораздо бѣольшую часть пространства, невидимую съемщику, чѣмъ при вѣшеніи *на* себя (черт. 160). Поэтому мѣсто постановки послѣдую-

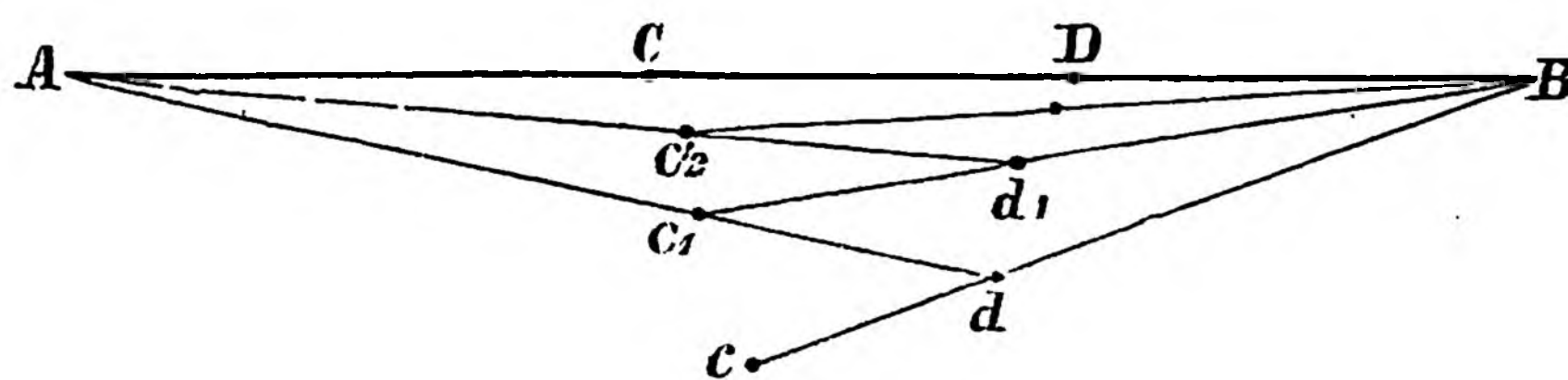
Черт. 160.



щихъ вѣхъ *D*, *E*,..... на первомъ чертежѣ болѣе произвольно, чѣмъ на второмъ. То же самое будетъ и тогда, когда первая вѣха *C* не точно стоитъ на линіи.

До сихъ поръ предполагалось, что съемщикъ можетъ встать на одну изъ данныхъ точекъ (*A* или *B*) и можетъ визировать отъ одной изъ нихъ до другой; но бываютъ случаи, когда эти предположенія не имѣютъ мѣста; напр., когда данныя точки опредѣляются колокольнями, башнями, ребрами зданій и другими естественными сигналами или между ними помѣщается возвышенность, препятствующая видѣть одну данную точку изъ другой. Рѣшеніе вопроса въ этихъ случаяхъ требуетъ по крайней мѣрѣ одного рабочаго при съемщикѣ. Съемщикъ ставитъ вѣху въ точку *c* (черт. 161), выбранную такъ, чтобы изъ нея была

Черт. 161.



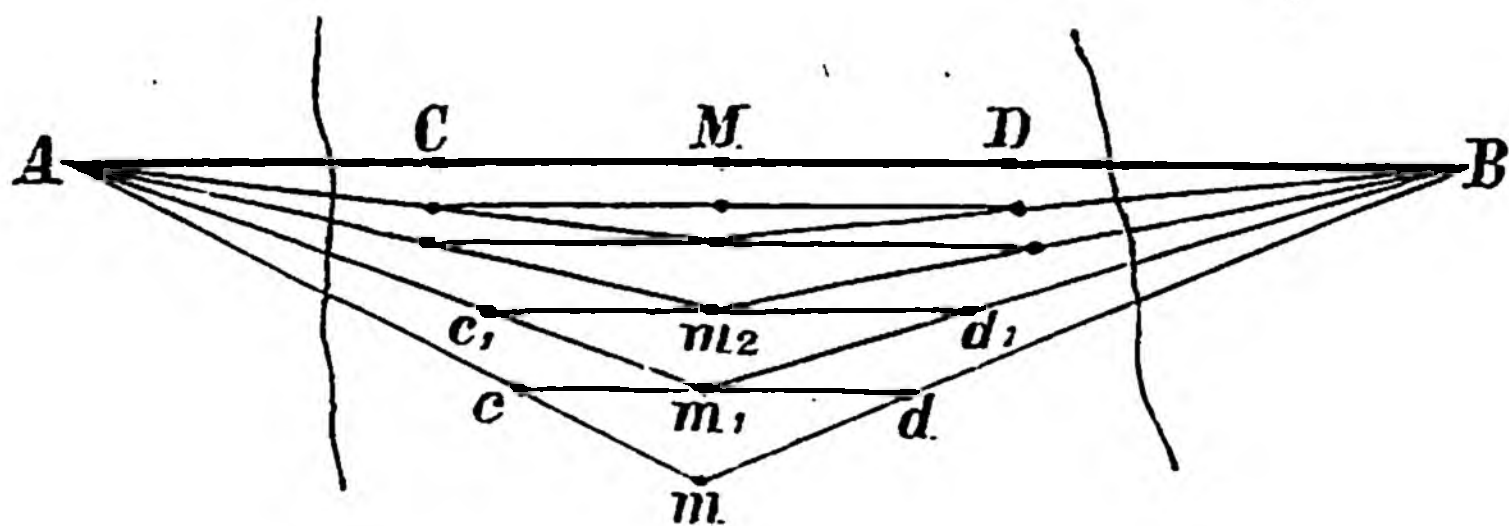
видна вѣха *B* и выставляетъ рабочаго съ вѣхою въ точку *d* по линіи *cB*; при этомъ рабочій такъ выбираетъ точку, чтобы изъ нея была



видна вѣха  $A$ . Затѣмъ рабочій переставляетъ съемщика въ  $c_1$ ; послѣ чего вѣха  $d$  переставляется въ  $d_1$  на линію  $c_1B$ , вѣха  $c_1$  въ  $c_2$  на линію  $d_1A$  и т. д. до тѣхъ поръ пока вѣхи  $C$  и  $D$  помѣстятся въ такія точки, что смотрящему изъ  $C$  вѣха  $D$  будетъ казаться покрывающею вѣху  $B$ , а смотрящему изъ  $D$  вѣха  $C$  будетъ покрывать  $A$ . Такъ какъ теперь линіи  $CDB$  и  $DSA$  суть линіи прямыя, имѣющія общую часть  $DC$ , то очевидно точки  $C$  и  $D$  лежатъ на прямой  $AB$  и вопросъ разрѣшенъ.

Если бы нельзя было выбрать такія точки  $c$  и  $d$ , чтобы изъ первой была видна  $B$ , а изъ второй  $A$ , потому что между  $A$  и  $B$  помѣщается возвышенность, то съемщикъ, ставъ съ вѣхою въ  $m$  (черт. 162) на высшую точку, посылаетъ рабочихъ по скатамъ горы и вѣху одного изъ нихъ выставляетъ въ  $c$  по линіи  $mA$ , а вѣху другаго — въ  $d$  по

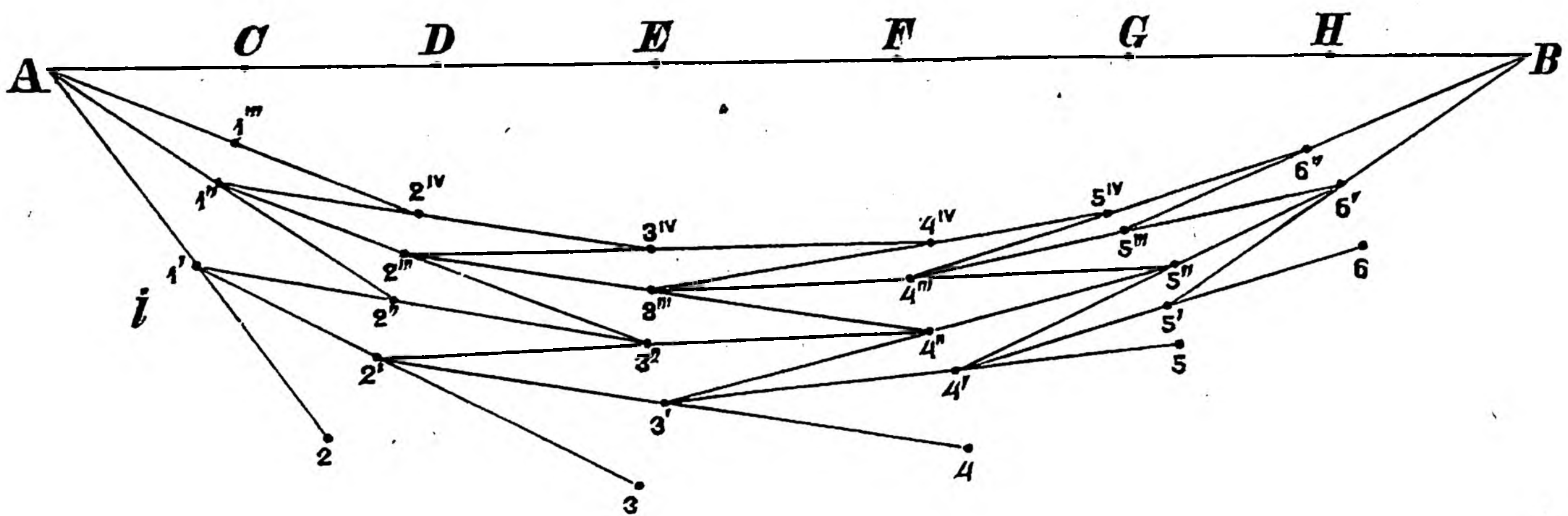
Черт. 162.



линіи  $mB$ ; при этомъ вѣхи  $c$  и  $d$  должны быть взаимно видимы. Послѣ этого вѣха  $m$  переставляется въ  $m_1$  на линію  $cd$ , вѣха  $c$  въ  $c_1$  на линію  $m_1A$ , вѣха  $d$  въ  $d_1$  на линію  $m_1B$ , вѣха  $m_1$  въ  $m_2$  на линію  $c_1d_1$  и т. д., пока не передвигая вѣхъ каждая изъ нихъ будетъ казаться покрывающею вѣху, находящуюся по другую ея сторону. Полученныя такимъ образомъ точки  $C$ ,  $M$  и  $D$ , въ которыя передвинутся вѣхи  $c$ ,  $m$  и  $d$ , будутъ лежать на прямой  $AB$ .

Если вслѣдствіе условій мѣстности недостаточно даже и трехъ вѣхъ, то можно между данными точками выставить четыре, пять, шесть и т. д. вѣхъ. Положимъ, что между данными точками  $A$  и  $B$  (черт. 163)

Черт. 163.



нужно выставить напр. шесть промежуточныхъ вѣхъ: 1, 2, 3, 4, 5 и 6. Каждая изъ нихъ, кромѣ первой и послѣдней, ставится предварительно такъ, чтобы отъ нея были видны двѣ непосредственно ей предшествующи

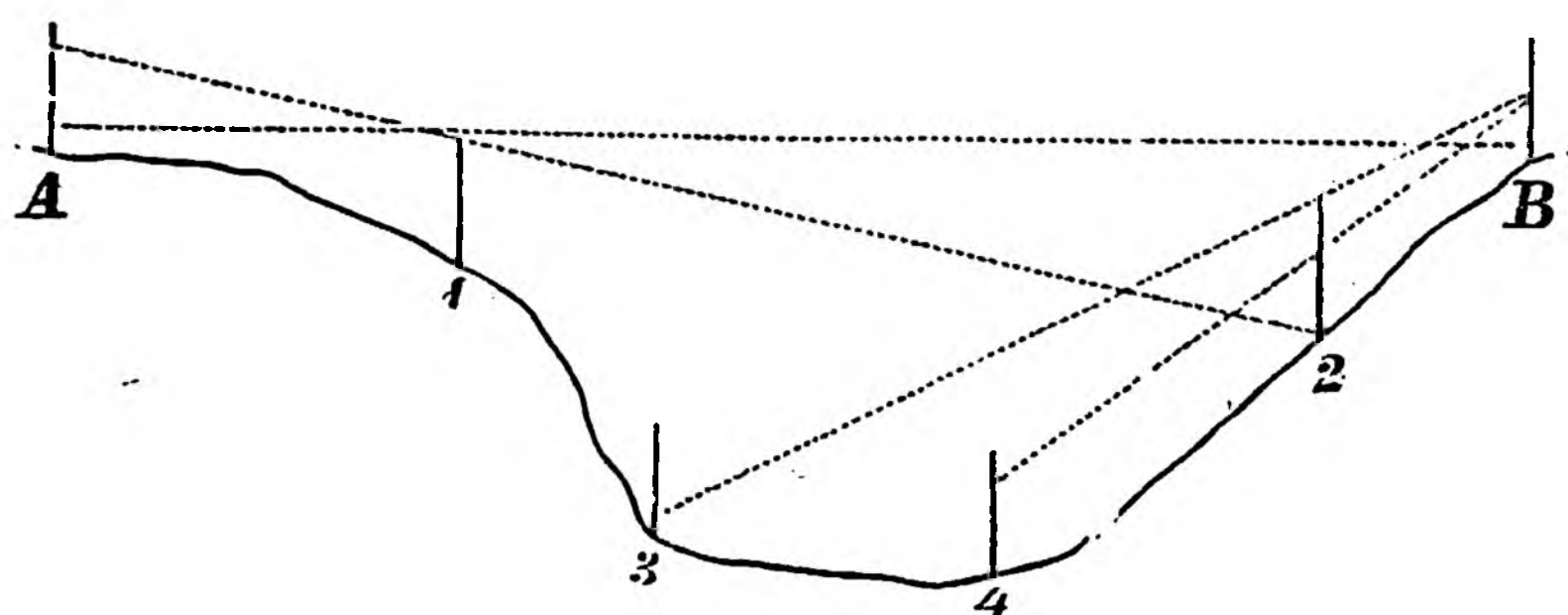
щія и двѣ за ней слѣдующія, а отъ первой и послѣдней вѣхи должна быть видна одна изъ данныхъ и двѣ вѣхи по другую сторону ея лежащія. Такъ что отъ вѣхи 1 видны: въ одну сторону данная вѣха *A*, а въ другую — вѣхи 2 и 3; отъ 2 видны: въ одну сторону вѣхи 1 и *A*, а въ другую — 3 и 4 и т. д. до вѣхи 6, отъ которой видны: въ одну сторону вѣхи 5 и 4, а въ другую — данная вѣха *B*. Общій приемъ вѣшенія состоитъ въ послѣдовательномъ передвиженіи каждой изъ промежуточныхъ вѣхъ на линію, соединяющую двѣ рядомъ съ нею находящіяся вѣхи; такъ, вѣха 1 переносится въ 1' на линію 2*A*, вѣха 2 переносится въ 2' на линію 1'3, вѣха 3 — въ 3' на линію 2'4, вѣха 4 — въ 4' на линію 3'5, вѣха 5 — въ 5' на линію 4'6 и 6 въ 6' на линію 5'*B*. Затѣмъ смотря отъ вѣхи 6' передвигаютъ вѣху 5' въ 5'' по направленію 6'4', смотря отъ 5'' передвигаютъ вѣху 4' въ 4'' по направленію 5''3', смотря отъ 4'' передвигается 3' въ 3'' по направленію 4''2', смотря отъ 3'' передвигаютъ 2' въ 2'' по направленію 3''1' и наконецъ смотря отъ 2'' передвигаютъ 1' въ 1'' по направленію 2''*A*. Послѣ этого съемщикъ переходитъ въ 1'' и, идя по обратному направленію, заставляетъ передвигать послѣдовательно вѣхи: 2'', 3'', 4'', 5'' и 6' въ 2''', 3''', 4''', 5''' и 6''. Далѣе съемщикъ, идя по направленію отъ *B* къ *A*, передвигаетъ вѣхи въ 5<sup>iv</sup>, 4<sup>iv</sup>, 3<sup>iv</sup>, 2<sup>iv</sup> и 1<sup>iv</sup>. Продолжая такимъ путемъ, достигаютъ того, что при смотрѣніи отъ каждой изъ промежуточныхъ вѣхъ, вѣха рядомъ стоящая будетъ покрывать вѣху за ней слѣдующую; а это возможно только тогда, когда всѣ начальныя вѣхи отъ 1 до 6 будутъ стоять въ точкахъ *C*, *D*, *E*, *F*, *G* и *H*, находящихся на данной прямой *AB*.

Къ сказанному о вѣшеніи линіи между двумя данными точками надо прибавить: а) по окончаніи вѣшенія линіи необходимо сдѣлать повѣрку, для чего пользоваться приемомъ, указаннымъ при чертежахъ 156 и 156 (bis); при этомъ, если вся линія не видна сразу, то повѣрка дѣлается по частямъ. б) Излишнее число промежуточныхъ вѣхъ вдвойнѣ вредно: во-первыхъ, оно уменьшаетъ точность работы, а во-вторыхъ замедляетъ ее; вслѣдствіе этого, для провѣшенія линіи между данными точками ставится только *необходимое* число вѣхъ. в) Разстояніе между промежуточными вѣхами зависитъ главнымъ образомъ отъ характера мѣстности и силы зрѣнія съемщика; вообще же можно принять, что на мѣстности ровной и горизонтальной оно не менѣе 50 и не болѣе 100 саж., а на мѣстности волнистой отъ 10 до 50 саж. д) Для увеличенія точности покрытія одной вѣхи другою, необходимо при визированіи пользоваться или биноклемъ, или трубою. е) Не всегда безразлично, съ какого конца линіи начинать вѣшеніе, такъ какъ обыкновенно одна сторона вѣхъ освѣщена болѣе. Если возможно, то лучше производить вѣшеніе такъ, чтобы солнце было позади; тогда вѣхи будутъ обращены къ съемщику болѣе освѣщенною стороною и ослѣпительный блескъ солнечныхъ лучей не будетъ препятствовать визированію.

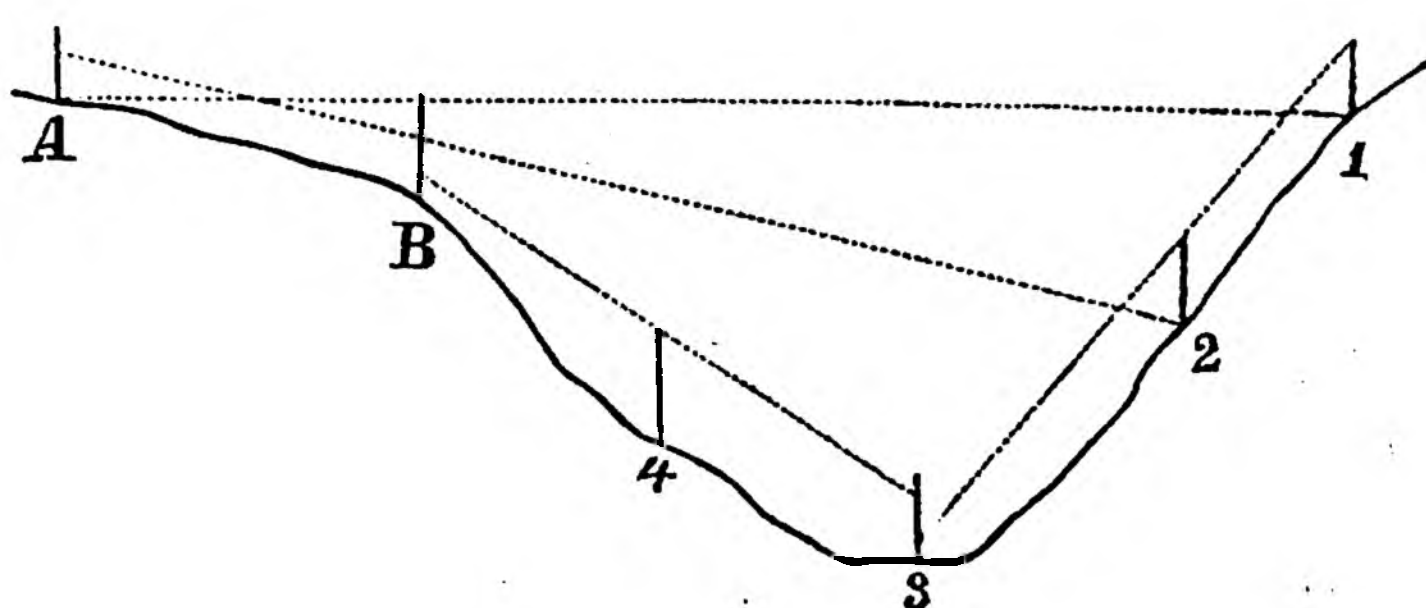
На земной поверхности встрѣчаются возвышенія и углубленія, которыя могутъ быть пересѣкаемы провѣшиваемою линіею. Такъ какъ спо-

собъ вѣшенія въ этихъ случаяхъ нѣсколько видоизмѣняется, то и рассмотримъ вѣшеніе линіи чрезъ лощину или долину и по скату горы. Положимъ, что долина, чрезъ которая надо провѣшить линію, лежитъ между точками *A* и *B* (черт. 164); тогда порядокъ постановки вѣхъ для нашего чертежа будетъ слѣдующій: сначала по вѣхамъ *A* и *B*

Черт. 164.



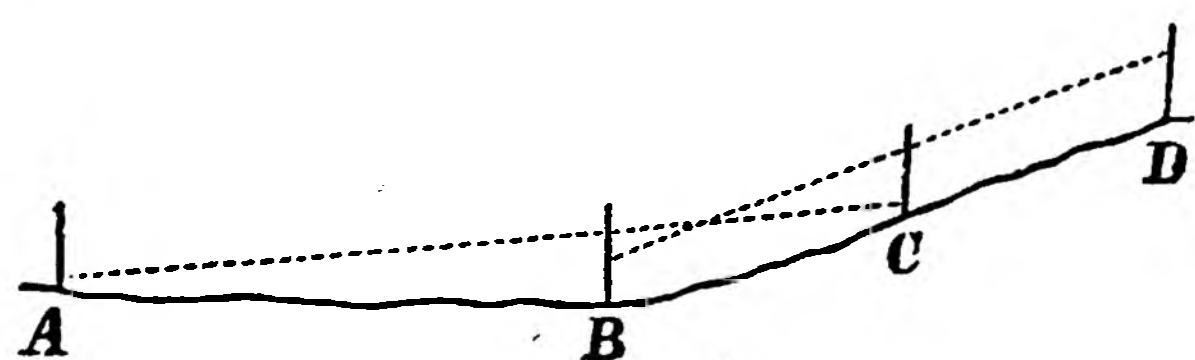
Черт. 165.



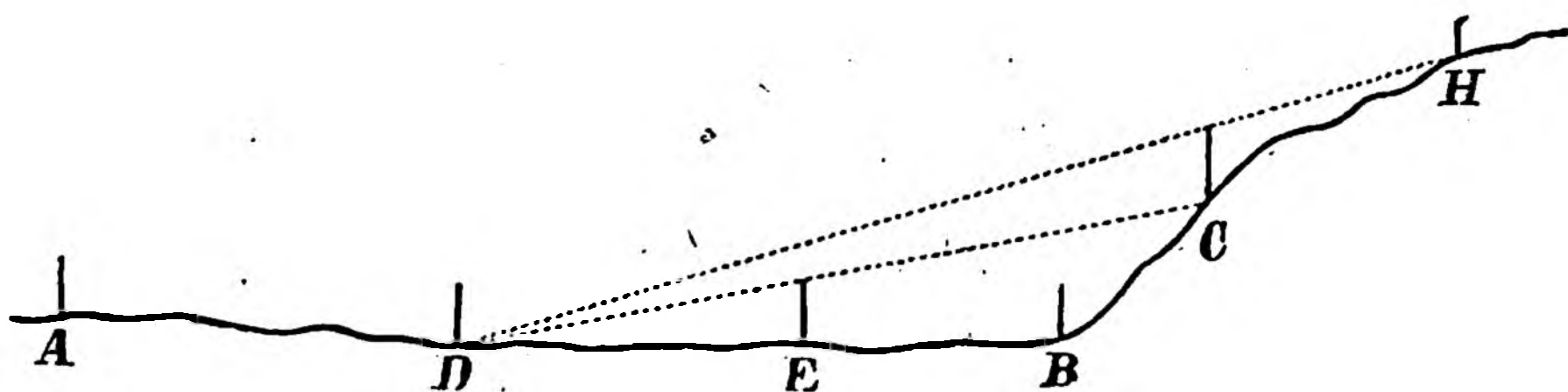
выставляютъ вѣху 1, затѣмъ по *A* и 1 вѣху 2 и, наконецъ, по *B* и 2 вѣхи 3 и 4. Если же данныя точки *A* и *B* лежатъ по одну сторону долины (черт. 165), то по вѣхамъ *A* и *B* выставляютъ двѣ вѣхи 1 и 2 на другой сторонѣ лощины, по 1 и 2 вѣху 3 и наконецъ по *B* и 3 ставится вѣха 4. Порядокъ постановки вѣхъ при вѣшеніи чрезъ лощину не можетъ быть всегда точно такимъ, какъ указанъ при предыдущихъ чертежахъ; напротивъ того, онъ измѣняется главнымъ образомъ съ измѣненіемъ степени наклонности боковыхъ скатовъ долины, но имѣетъ ту общую для всѣхъ случаевъ черту, что вѣхи ставятся попеременно то на той, то на другой сторонѣ долины, смотря по открывающейся возможности.

При продолженіи линіи *AB* (черт. 166) по скату горы приходится выбирать точку *C* такъ, чтобы смотря отъ нея верхъ вѣхи *B* покры-

Черт. 166.



Черт. 167.



валъ низъ вѣхи *A*; а послѣдующія затѣмъ точки *D*,... определяются уже по вѣхамъ *B* и *C*. Такимъ путемъ можно поступать при довольно отлогомъ скатѣ; но если за точкою *B* начинается крутой подъемъ или спускъ, то для возможности вѣшенія нужно сначала поставить одну или даже нѣсколько промежуточныхъ вѣхъ между данными *A* и *B*. Такъ напр. при крутомъ подъемѣ на черт. 167 между данными вѣхами *A* и *B* поставлены сначала промежуточные вѣхи *D* и *E*, а затѣмъ послѣдовательно вѣхи *C*, *H*,...

Во всѣхъ указанныхъ на чертежахъ отъ 164 до 167 случаяхъ, приходится выставлять вѣхи по совмѣщенію вершины одной изъ нихъ съ низомъ другой; а потому въ этихъ случаяхъ нужно, болѣе чѣмъ когда-либо, обращать вниманіе на возможно точную вертикальную ихъ постановку.

При вѣшеніи могутъ встрѣтиться на линіи небольшія мѣстныя препятствія, напр. домъ, дерево, кустарникъ, которыя могутъ мѣшать свободному визированію отъ одной промежуточной вѣхи до другой. Служащія для обойденія ихъ приемы будутъ указаны въ задачахъ послѣдующей главы объ инструментахъ для постоянныхъ угловъ. Тамъ же будетъ показанъ и способъ опредѣленія точки пересѣченія двухъ линій мѣстности.

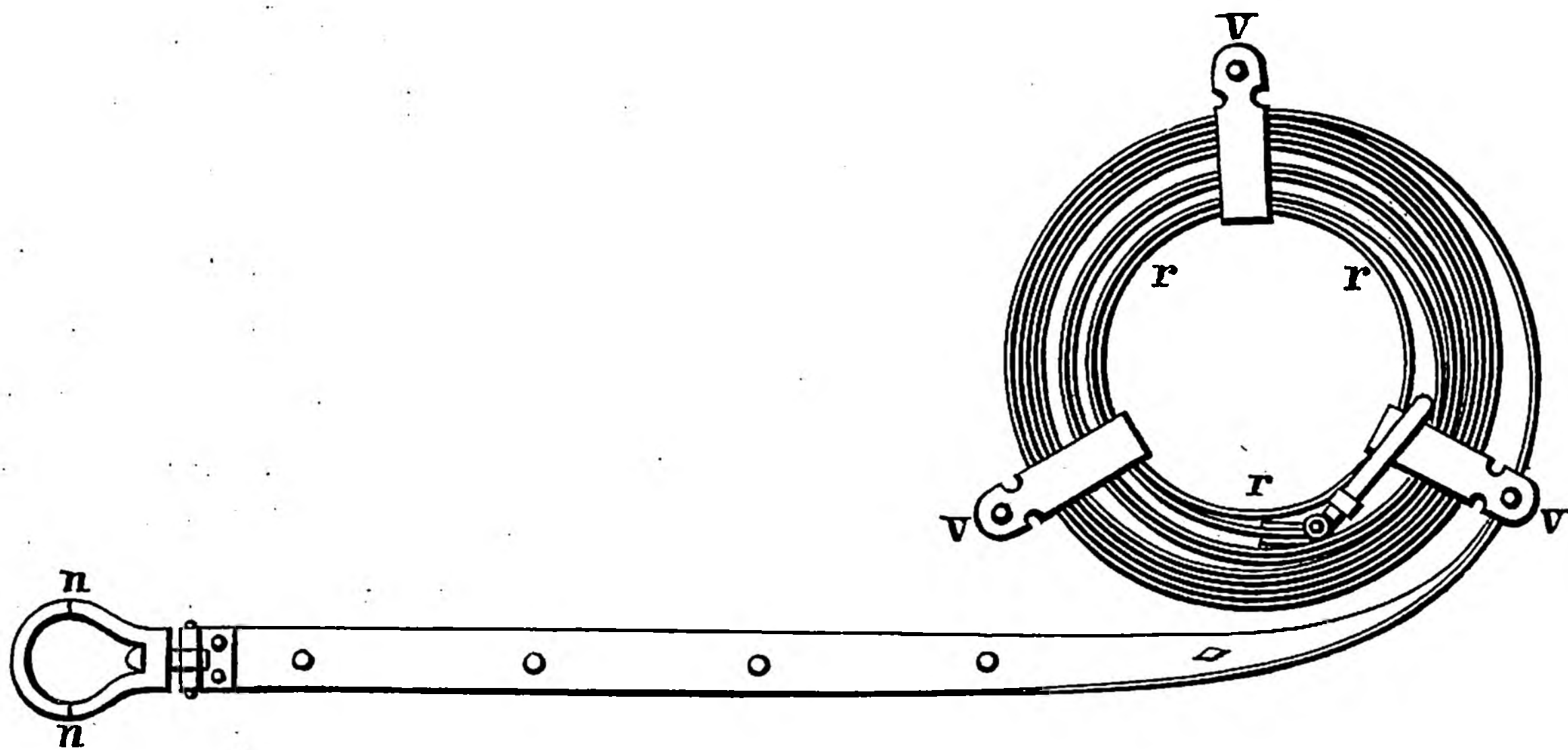
Вертикальная плоскость, проходящая чрезъ точки двухъ предметовъ мѣстности, называется *створомъ* этихъ предметовъ. Вслѣдствіе чего, если вообразимъ вертикальную плоскость чрезъ точки *A* и *B* мѣстности, то про точку *C*, находящуюся въ той же плоскости между *A* и *B* или позади одной изъ нихъ, говорятъ, что она лежитъ *въ створѣ* предметовъ *A* и *B*.

### Снаряды для измѣренія линій мѣстности.

§ 101. Для непосредственнаго измѣренія линій на мѣстности служатъ: мѣрительная лента, цѣпь, тесьма, жезлъ и сажень. Разсмотримъ каждый изъ этихъ снарядовъ отдѣльно.

*Мѣрительная лента*\*) дѣлается изъ тонкой стальной полосы (черт. 168), шириною около 1 англ. дюйма, оканчивающейся двумя мѣдными

Черт. 168.

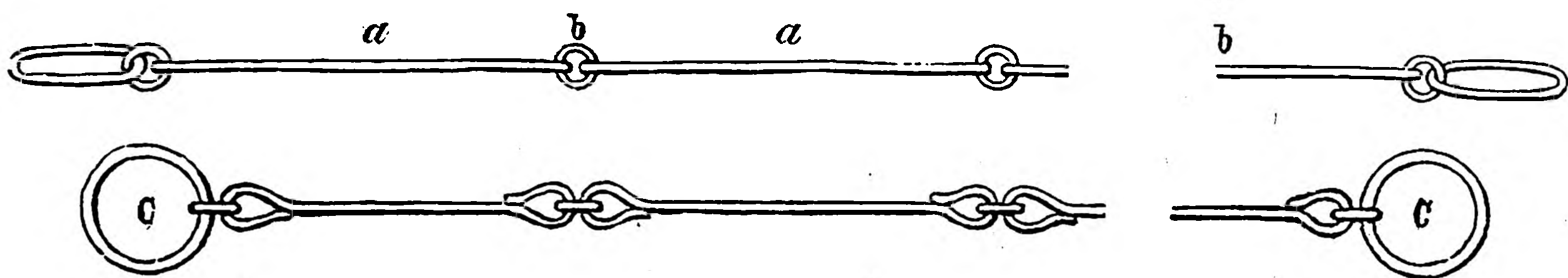


ручками, которыя вращаются по двумъ перпендикулярнымъ направле- ніямъ. Длина ленты, заключающаяся между сдѣланными на ручкахъ на- рѣзками *n*, равна 10 саженямъ. Отдѣльные сажени и полусажени помѣчены на ней мѣдными бляхами различной формы и величины; бляхи, укрѣпленные на концахъ пятой и десятой сажени, обозначены соотвѣт- ственными выпуклыми цифрами. Вся лента раздѣлена по своей длинѣ небольшими пуговками на десятыя доли сажени. Для перевозки и при сохраненіи лента наматывается на желѣзное кольцо *r* между стѣнками прикрѣпленныхъ къ нему трехъ выступовъ *v* и конецъ ея придержи- вается штифтомъ, проходящимъ чрезъ отверстіе ближайшаго къ нему выступа.

1) Введена впервые въ употребленіе въ первой половинѣ настоящаго столѣтія во Франціи оберъ-геометромъ кадастра *Журданомъ*.

Въ Россіи для измѣренія линій на мѣстности употребляется весьма часто *цѣпь* \*) (черт. 169), дѣлающаяся изъ стальной или желѣзной проволоки толщиною около 0",2. Цѣпь имѣетъ длину 10 сажень и состоитъ

Черт. 169.



изъ 100 звеньевъ или колѣнъ *a*, соединенныхъ между собою кольцами *b*. Разстояніе между центрами двухъ послѣдовательныхъ колець равно 0,1 саж. Къ концамъ цѣпи придѣлываются два большія круглыя или эллиптическія кольца *c*. Кромѣ этихъ стоколѣнныхъ цѣпей, въ недавнее время употреблялись также и цѣпи, состоявшія изъ 70 колѣнъ; разстояніе между центрами двухъ колець *b*, соединяющихъ два такихъ колѣна, дѣлалось равнымъ 1 футу. Эти послѣднія цѣпи постепенно вытѣсняются изъ употребленія цѣпями стоколѣнными, такъ какъ результаты измѣренія ими линій мѣстности, выражаясь въ саженьяхъ, футахъ и ихъ доляхъ, представляютъ при ариѳметическихъ вычисленіяхъ большія затрудненія, чѣмъ дроби десятичныя, которыми выражаются результаты измѣренія стоколѣнными цѣпями. Длина цѣпи 10 сажень заключается или между центрами тѣхъ малыхъ колець на концахъ ея, къ которымъ придѣланы большія кольца *c*, или между центрами этихъ большихъ колець, или наконецъ между тѣми мѣстами наружныхъ сторонъ эллиптическихъ колець, на которыхъ сдѣланы небольшія зарубки. Въ двухъ послѣднихъ случаяхъ первое и послѣднее колѣна цѣпи должны быть, очевидно, менѣе остальныхъ. Къ кольцамъ *b* для обозначенія отдѣльныхъ саженей прикрѣпляются чрезъ каждыя 10 колѣнъ мѣдныя бляхи съ цифрами: 1, 2, 3, . . . . 9, выражающими число сажень отъ начала цѣпи.

Необходимую принадлежность каждой ленты и цѣпи составляютъ 10 *кольшковъ* или *шпильекъ* (черт. 170), сдѣланныхъ изъ желѣзной проволоки и надѣвающихся на одно желѣзное кольцо *k*. Шпильки служатъ для обозначенія на мѣстности точки, совпадающей съ концомъ цѣпи. Принадлежностью ленты и цѣпи служатъ также *два кола* или *багры* (черт. 171), на которые надѣваются большія кольца этихъ мѣрительныхъ снарядовъ и которые служатъ для вытягиванія послѣднихъ по данному направленію на мѣстности. Багры дѣлаются вышиною аршина 2, а снизу оковываются желѣзомъ и имѣютъ желѣзный же пруть *p*, который пропускается чрезъ всю толщину кола. Этотъ пруть дѣлается такой длины, чтобы онъ препятствовалъ спадать большому кольцу ленты или цѣпи, надѣтому на багоръ.

\*) Цѣпь предложена въ началѣ XVII-го столѣтія профессоромъ астрономіи Оксфордскаго университета Э. Гунтеромъ.

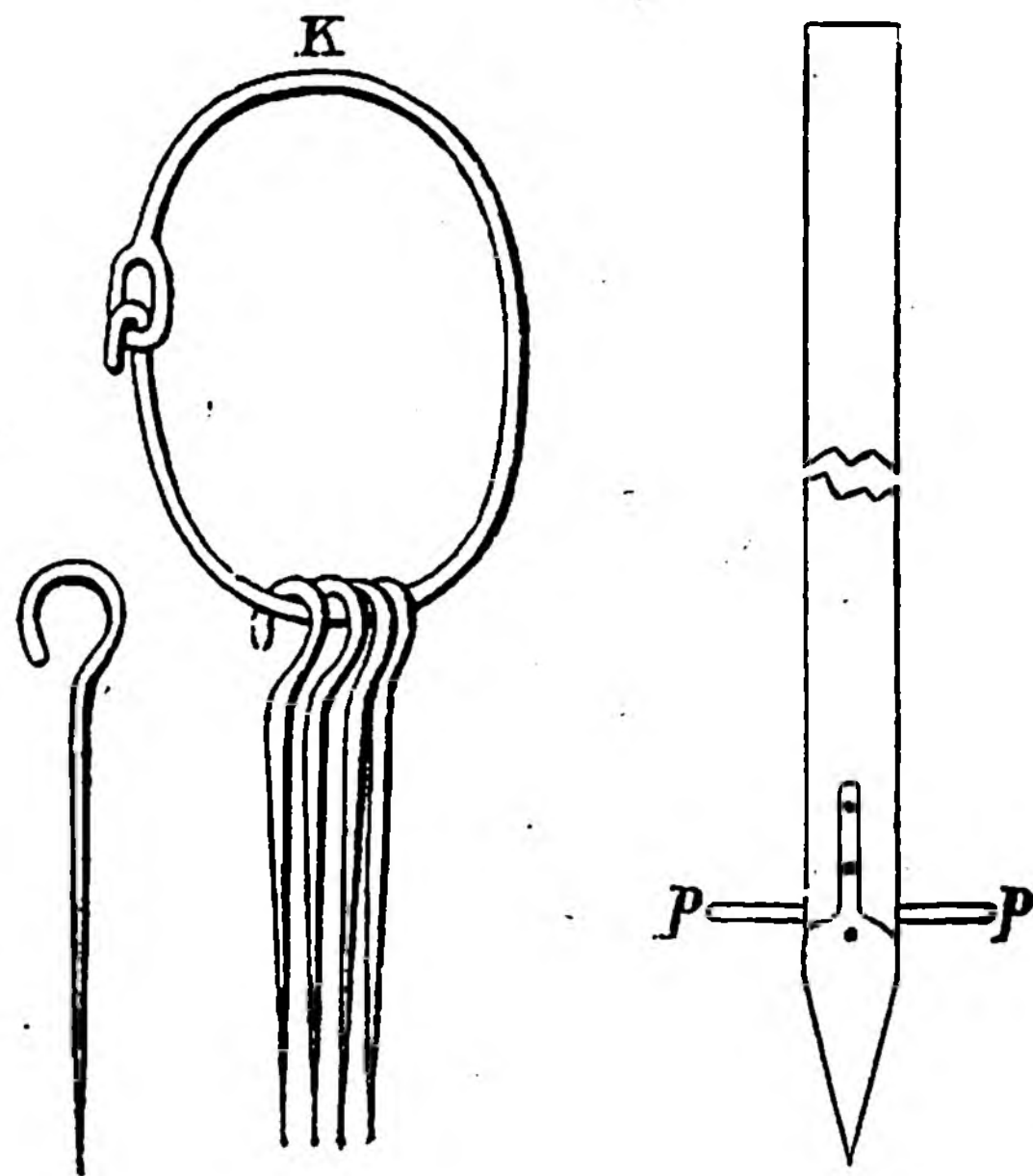
При повѣркѣ ленты или цѣпи надо узнать: а) равна ли длина ихъ 10 саженьмъ и если нѣтъ, то насколько она отличается? и б) вѣрны ли отдѣльныя сажени? Кромѣ того нужно убѣдиться еще въ томъ, что каждая сажень состоитъ дѣйствительно изъ десяти частей. Для повѣрки цѣпи необходимы два бруска, длиною въ 1 сажень каждый. Если съемщикъ ихъ не имѣетъ, то онъ можетъ заказать простому плотнику 2 бруска, нѣсколько длиннѣе 1 сажени каждый, а при помощи штангенъ-циркуля тщательно удвоить на нихъ полусажень, назначенную на металлической линейкѣ, прилагаемой къ штангенъ-циркулю. Затѣмъ лишніе концы брусковъ отрѣзаются и получаютъ два точные саженные бруска. Самая повѣрка длины цѣпи дѣлается такъ:

на мѣстности возможно ровной забиваются два кола въ разстояніи другъ отъ друга нѣсколько больше 10 сажень; между этими кольями натягивается по землѣ веревка и вблизи одного изъ нихъ дѣлается на землѣ поперечная къ веревкѣ черта; затѣмъ берутъ одну изъ приготовленныхъ саженей, кладутъ ее вдоль веревки, придвигаютъ одинъ конецъ сажени къ чертѣ, а у другаго конца сажени проводится черта и къ нему придвигается осторожно другая сажень до прикосновенія съ первою; послѣ чего проводится на землѣ черта у передняго конца второй сажени, снимается первая сажень и приставляется къ переднему концу второй сажени. Продолжая такимъ образомъ далѣе и замѣчая на землѣ чертами положеніе концовъ отдѣльныхъ саженей, откладываютъ по направленію длины веревки 10 сажень. Наконецъ, вытягиваютъ по тому же направленію испытываемую цѣпь и, приложивъ одинъ конецъ ея къ крайней чертѣ на землѣ, смотрятъ — совпадаетъ ли второй конецъ цѣпи съ другой крайнею чертою, а промежуточные черты совпадаютъ ли съ концами отдѣльныхъ саженей цѣпи. Если вся длина цѣпи невѣрна, то невѣрность эта измѣряется и записывается. Она понадобится для полученія истинной длины линіи, измѣренной на мѣстности невѣрною цѣпью. Если же невѣрны также и отдѣльныя сажени цѣпи, то небольшія невѣрности (даже въ нѣсколько дюймовъ) пренебрегаются, а при значительныхъ невѣрностяхъ, во избѣжаніе введенія поправокъ, надо отдать цѣпь для вывѣрки механику. Указаннымъ путемъ повѣряется цѣпь при началѣ съемки или отъ времени до времени; а чтобы не тратить время ежедневно на эту повѣрку, вытягиваютъ повѣренную цѣпь вдоль стѣны зданія или забора, замѣчаютъ на немъ ея длину и каждый разъ передъ отправленіемъ на съемку убѣждаются въ томъ, что длина цѣпи не измѣнилась.

Этотъ довольно продолжительный способъ пригоденъ, по малой своей точности, только для повѣрки цѣпей, а не мѣрительныхъ лентъ. Ему

Черт. 170.

Черт. 171.



нужно предпочитать другой способ, одинаково пригодный какъ для цѣпей, такъ и для лентъ и состоящій въ непосредственномъ сравненіи этихъ мѣрительныхъ снарядовъ съ *нормальною* стальной лентою, которая въ свою очередь сравнивается изрѣдка съ *нормальною* саженью посредствомъ особаго штангенъ-циркуля. Ножки этого циркуля, для предохраненія нормальной сажени отъ порчи остріями ихъ, замѣняются двумя пластинками съ чертою, назначенною на каждой изъ нихъ. Нормальная лента дѣлается длиною въ 5 сажень, и потому при сравненіи съ десятисаженною цѣпью длина ея повторяется вдоль протянутой по землѣ веревкѣ два раза. Нормальную ленту съемщикъ долженъ употреблять единственно для повѣрки своего мѣрительнаго снаряда, а отнюдь не для измѣреній на мѣстности.

**§ 102.** Употребленіе мѣрительной ленты и цѣпи при измѣреніи линій на мѣстности совершенно одинаково и состоитъ въ слѣдующемъ: двое рабочихъ надѣваютъ ленту (цѣпь) большими ея кольцами на багры и вытягиваютъ ее по направленію провѣшенной линіи на мѣстности; при чемъ наблюдается, чтобы лента не была закручена, а колѣна цѣпи не были запутаны. Задній рабочій втыкаетъ остріе своего багра въ землю такъ, чтобы начальная точка ленты (цѣпи) совпала съ начальною точкою измѣряемой линіи, а передній рабочій, отстранившись самъ отъ линіи, держитъ свой багоръ отвѣсно въ вытянутой въ сторону рукъ и передвигаетъ его вправо или влево до тѣхъ поръ, пока не поставитъ его по указанію задняго рабочаго на измѣряемую линію; затѣмъ встряхнувъ и вытянувъ ленту (цѣпь), чтобы она легла по прямой линіи, передній рабочій втыкаетъ въ землю одинъ изъ взятыхъ имъ 10 колышковъ въ то мѣсто, гдѣ оканчивается длина ленты (цѣпи) и протягиваетъ ее дальше по линіи, пока задній рабочій не дойдетъ до воткнутого кола. Тогда задній рабочій, остановивъ передняго и совмѣстивъ опять начало ленты (цѣпи) съ точкою, въ которой воткнуть былъ колышекъ, вновь направляетъ передній багоръ на линію. Такимъ образомъ продолжается измѣреніе далѣе. Когда задній рабочій соберетъ всѣ 10 колышковъ, выставленныхъ послѣдовательно переднимъ рабочимъ по линіи, тогда, совмѣстивъ начало ленты (цѣпи) съ точкою, въ которой воткнуть былъ послѣдній колышекъ, онъ передаетъ всѣ 10 колышковъ переднему рабочему, даетъ знать объ этомъ съемщику, дѣлаетъ у себя какую нибудь замѣтку и продолжаетъ измѣреніе въ томъ же порядкѣ до тѣхъ поръ, пока передній рабочій дойдетъ до вѣхи, поставленной въ переднемъ концѣ линіи. Послѣ этого лента (цѣпь) вытягивается впередъ за вѣху настолько, чтобы задній рабочій могъ совмѣстить начало ленты (цѣпи) съ мѣстомъ стоянія послѣдняго колышка и съемщикъ подойдя къ вѣхѣ дѣлаетъ на лентѣ (цѣпи) отсчетъ. Число замѣтокъ, сдѣланныхъ заднимъ рабочимъ, и число колышковъ у него имѣющихся дадутъ число сотенъ и десятковъ сажень въ измѣряемой линіи, а отсчетъ, сдѣланный съемщикомъ, выразитъ число единицъ сажень и долей ихъ. Изъ предыдущаго видно, что задній рабочій, какъ

обязанный держать передняго рабочаго на линіи и замѣчать число передачъ всѣхъ колышковъ переднему [рабочему, долженъ быть болѣе опытный, чѣмъ этотъ послѣдній. Къ сказанному слѣдуетъ добавить, что передній рабочій можетъ провѣрять свою установку на линіи заднимъ рабочимъ, ибо багоръ этого послѣдняго долженъ казаться ему покрывающимъ заднюю вѣху. При достаточномъ навыкѣ задняго рабочаго багры при измѣреніи иногда не употребляются, а лента (цѣпь) укладывается вдоль линіи по тому концу ея, который держится переднимъ рабочимъ въ рукѣ.

Если при повѣркѣ ленты (цѣпи) длина ея оказалась болѣе или менѣе 10 саж. на нѣкоторое количество  $\alpha$ , такъ что длина ея равна  $10 \text{ саж.} \pm \alpha$ , то длина  $l$  линіи на мѣстности, по которой цѣпь уложилась  $n$  разъ, будетъ:

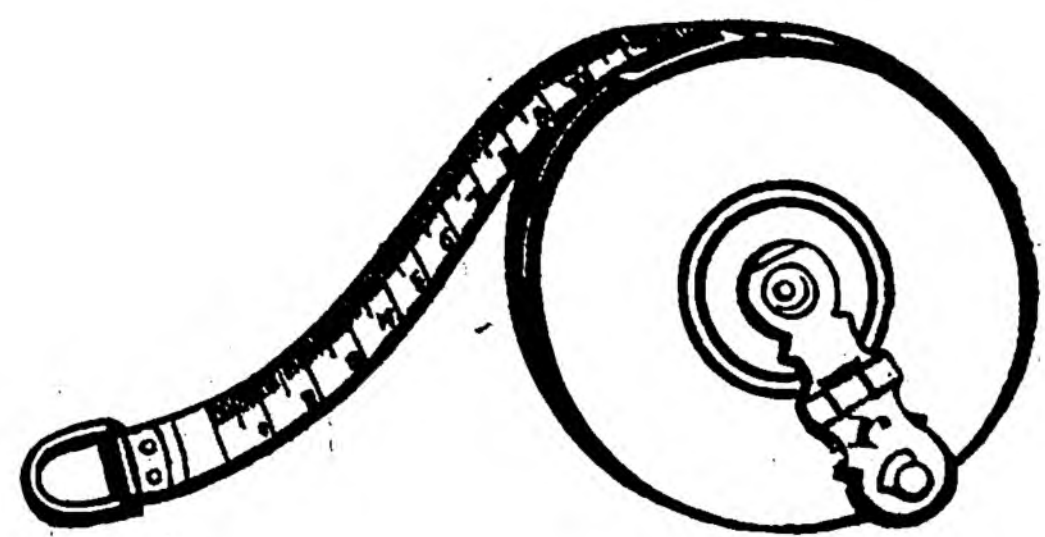
$$l = n (10 \pm \alpha) = n \times 10 \pm n\alpha.$$

Примѣръ: цѣпь *короче* десяти сажень на 1,6 англ. дюйма и при измѣреніи ею линіи на мѣстности получено 136,8 саж., поэтому дѣйствительная длина этой линіи  $= 13,68 \times 10 - \frac{13,68 \times 1,6}{84} = 136,8^c - 0,3^c = 136,5$  саж. Понятно, что если цѣпь *длиннѣе* десяти сажень, то вычисленная поправка *придается* къ длинѣ линіи, измѣренной этою цѣпью. Какъ ни просто это вычисленіе, однако для совершеннаго устраненія его лучше вычислить поправки для 1, 2, 3, 4, . . . 10 цѣпей и размѣстить ихъ въ небольшую табличку, по которой и производить исправленіе результатовъ непосредственнаго измѣренія.

Иногда для избѣжанія введенія поправки отъ невѣрности длины цѣпи къ концу или серединѣ ея придѣлывается особый *исправительный* аппаратъ, посредствомъ котораго можно сдѣлать длину цѣпи вѣрною; но аппараты эти, усложняя устройство и повышая стоимость такого простаго снаряда, какъ цѣпь, а также и въ виду простоты введенія поправки, едва ли могутъ быть рекомендуемы. Исправительные аппараты никогда не устраиваются при мѣрительной лентѣ.

**§ 103.** *Мѣрная тесьма*, употребляющаяся при измѣреніи небольшихъ длинъ и преимущественно размѣровъ зданій, дѣлается изъ вывареннаго въ маслѣ холста, и имѣетъ длину 5 или 10 сажень. На одной сторонѣ тесьмы назначаются сажени, раздѣленные на десятые и сотые доли, а на другой — сажени, футы и дюймы или сажени, аршины и вершки. Тесьма помещается въ кругломъ кожаномъ футлярѣ (черт. 172), въ которомъ она наворачивается на ось помощію рукоятки  $r$ . Эта особенность собиранія тесьмы въ футлярѣ послужила поводомъ къ на-

Черт. 172.



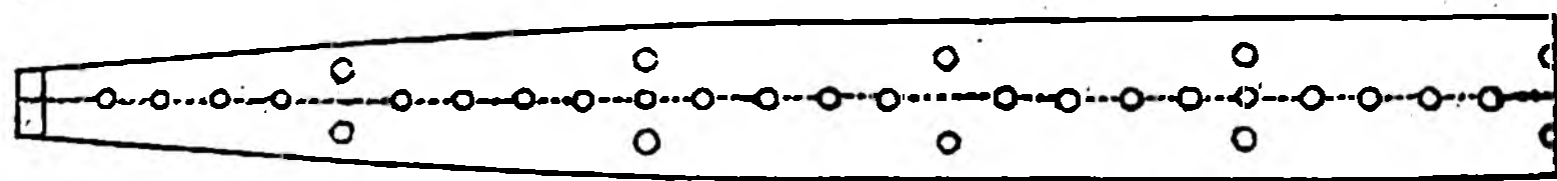


званію ея *рулеткою*. Чтобы тесьма менѣе измѣняла свою длину отъ растяженія, дѣлаютъ ее изъ двухъ склеенныхъ полотняныхъ лентъ, между которыми вкладывается тонкая мѣдная проволока. Еще лучше сохраняетъ свою длину стальная лента, помѣщаемая въ такой же футляръ.

Повѣрка отдѣльныхъ саженой тесьмы дѣлается сравненіемъ ихъ съ длиною саженнаго бруска.

§ 104. Болѣе точное измѣреніе линій мѣстности производится посредствомъ *мѣрныхъ брусевъ*. Такъ какъ такое измѣреніе не вошло еще у насъ въ употребленіе, то здѣсь опишемъ устройство брусевъ и порядокъ измѣренія ими въ томъ видѣ, какъ это практикуется за границей. Для измѣренія необходимо имѣть два мѣрныхъ бруса. Каждый изъ нихъ, изготовляемый изъ еловаго или сосноваго дерева, имѣетъ длину 5 метровъ, толщину: въ срединѣ 30—40 миллиметровъ (въ среднемъ около 1,4 дюйма), а на концахъ 20—30 милл. (въ среднемъ около 1 дюйма). Концы брусевъ оковываются желѣзомъ или мѣдью и чтобы брусъ на ровномъ мѣстѣ не катался дѣлаютъ ихъ въ сѣченіи не круглыми, а эллиптическими. Иногда эту эллиптичность сообщаютъ только срединѣ бруса, оставляя концы его круглыми. Для предохраненія бруса отъ сырости, онъ покрывается масляною краскою, при чемъ для отдѣльныхъ метровъ употребляются попеременно бѣлый и красный цвѣта. Дальнѣйшее подраздѣленіе бруса на дециметры достигается гвоздиками съ круглыми головками, а сантиметры оцѣниваются на глазъ. На черт. 173 изображена половина мѣрнаго бруса, имѣющая длину 2,5 метра.

Черт. 173.



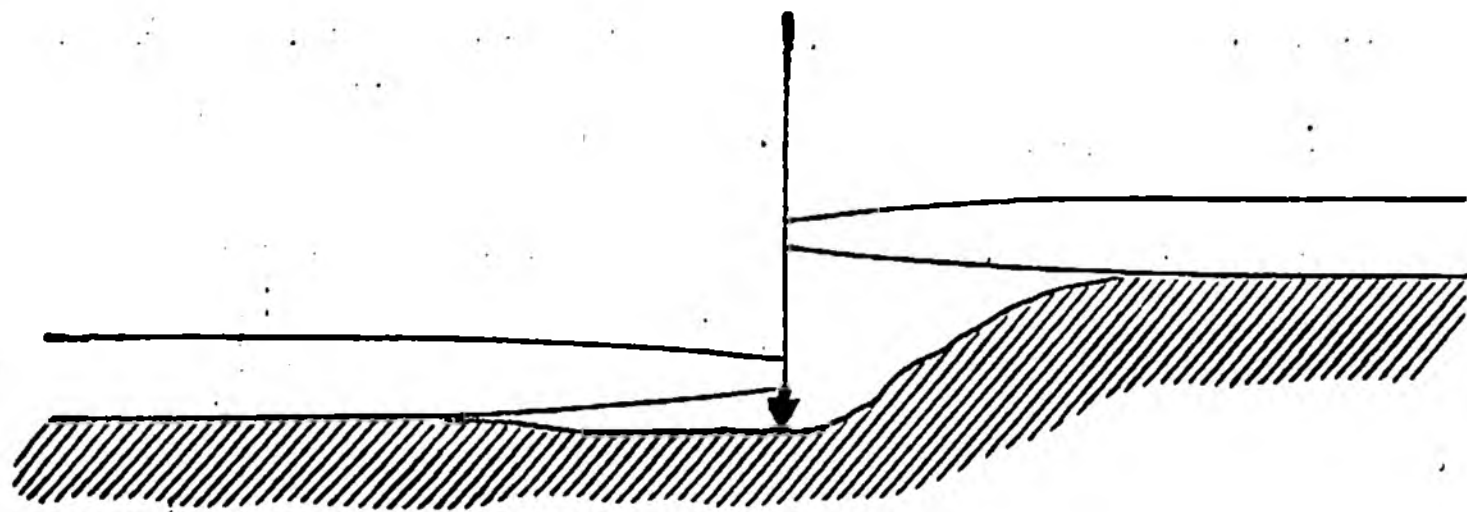
Хотя при употребленіи двухъ мѣрныхъ брусевъ можно ограничиться *однимъ* рабочимъ, но для быстрѣйшаго и безошибочнаго хода работы лучше приставить по одному рабочему къ каждому брусу. Для этой работы наиболее пригодны по ловкости и проворности мальчики. *Употребленіе* брусевъ, иначе, порядокъ работы ими при измѣреніи линій на мѣстности состоитъ въ слѣдующемъ: первый рабочій кладетъ свой брусь на землю такъ, чтобы онъ располагался вдоль линіи, подлежащей измѣренію, а конецъ его совпадалъ съ начальною точкою той же линіи; второй рабочій, не прикасаясь къ положенному брусу, кладетъ свой брусь впередъ по линіи и придерживая первый брусь приводитъ свой брусь съ нимъ въ соприкосновеніе. Затѣмъ первый рабочій, отодвинувъ свой брусь немного назадъ, поднимаетъ его, говоритъ вслухъ — *разъ* и, перейдя быстро, бросаетъ брусь впередъ такъ, чтобы можно было нѣсколькими передвиженіями скоро уложить его по линіи и придерживая второй брусь привести въ соприкосновеніе съ этимъ послѣднимъ. Послѣ этого, второй рабочій, отодвинувъ свой брусь назадъ, поднимаетъ его и громко считаетъ — *два*. Такимъ образомъ продолжается далѣе до конца измѣряемой линіи. Понятно, что первый рабочій будетъ всегда произносить при этомъ нечетные номера, а второй рабочій — четные, что служитъ нѣкоторымъ контролемъ. Громкое считаніе поднятыхъ брусевъ также предохраняетъ отъ просчетовъ.

Если измерение предполагается производить одним рабочим, то для избежания ошибок в счете брусев необходимо, чтобы они были покрашены различно. Так, если первый брус начинается бѣлою краскою, то второй должен начинаться красною; тогда всѣ нечетные брусья должны имѣть бѣлый конецъ, а четные — красный. Въ этомъ случаѣ просчетъ возможенъ только на четное число брусевъ, а не на одинъ, что случается чаще.

Дойдя до конца линіи, отсчитываютъ на послѣднемъ брусѣ отъ начала его число метровъ, дециметровъ и сантиметровъ. Если число поднятыхъ съ линіи брусевъ было напр. 43, отсчетъ, сдѣланный на послѣднемъ брусѣ, былъ 4,37 метра, то длина всей измеренной линіи = 43 бруса + 4,37 метра =  $43 \times 5^m + 4,37^m = 219,37$  метра.

Если въ случаѣ неровности мѣстности оси брусевъ не лежатъ въ одной горизонтальной плоскости, то вмѣсто соприкосновенія концы ихъ приводятся на одну вертикальную линію или посредствомъ отвѣса (черт. 174), или при небольшомъ отвѣсномъ разстояніи, что случается чаще,

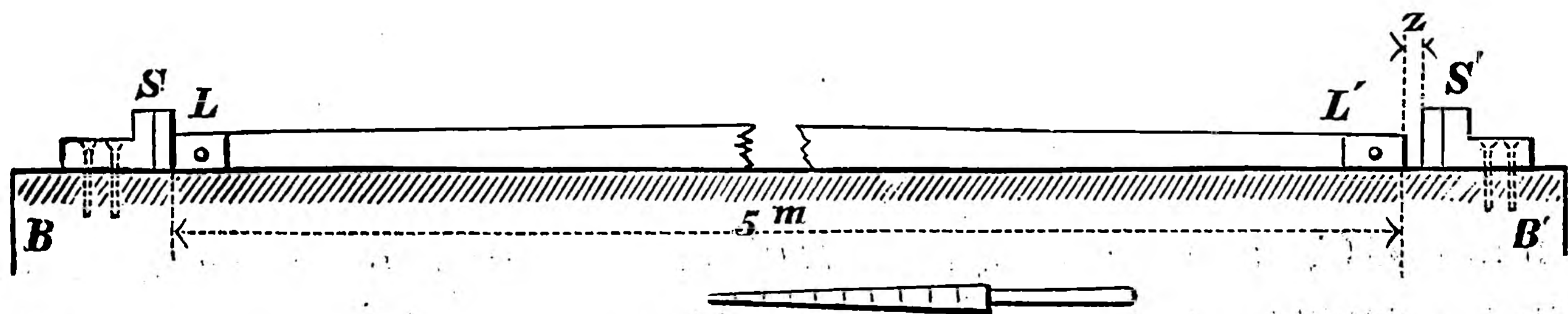
Черт. 174.



просто на-глазъ. Въ послѣднемъ случаѣ надо остерегаться параллактическаго передвиженія, для чего держутъ глазъ возможно отвѣсно надъ концомъ лежащаго бруса.

Для проверки брусевъ профессоръ Иорданъ поступаетъ такъ (см. Handbuch der Vermess., von Dr. W. Jordan): мѣрный брусъ  $LL'$  (черт. 175) кладется на прочную сосновую подставку между двумя остриями  $S$  и  $S'$ , разстояніе между которыми нѣсколько болѣе 5 метровъ (длины бруса)

Черт. 175.



и точно извѣстно; при этомъ одинъ конецъ  $L$  бруса придвигается къ острию  $S$  вплотную, а промежутокъ  $z$  между другимъ концомъ  $L'$  бруса и остриемъ  $S'$  измѣряется стальнымъ клиномъ съ точностью до 0,1 миллиметра. Этотъ клинъ, изображенный на чертежѣ внизу, имѣетъ штрихи, длина которыхъ извѣстна изъ предварительныхъ очень точныхъ измереній. Вмѣсто клина можно употреблять также линейчку, раздѣленную на миллиметры.

§ 105. Наконецъ, для измерения на мѣстности небольшихъ длинъ, когда не требуется особая точность, какъ напр. при измереніи перпендикуляровъ, опускаемыхъ на линіи мѣстности изъ точекъ контуровъ,

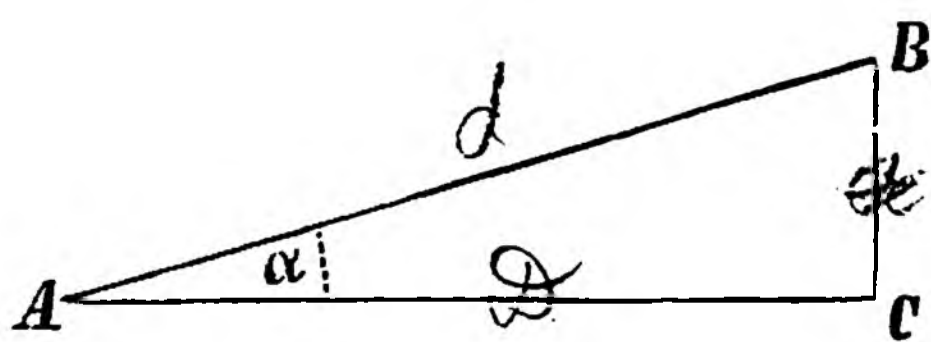
употребляется *мѣрительная сажень*, которая раздѣлена по своей длинѣ на десятыя доли. Сажень кладутъ на землю по направленію измѣряемой линіи и придвигаютъ ее однимъ концомъ къ началу; затѣмъ, оставляя другой конецъ сажени неподвижнымъ, поворачиваютъ ее такъ, чтобы задній конецъ сдѣлался переднимъ и чтобы сажень вновь лежала по направленію линіи. Такимъ же образомъ продолжаютъ далѣе до конца.

Сажень употребляется также при измѣреніи линій наклонныхъ, какъ объ этомъ будетъ сказано въ слѣдующемъ параграфѣ.

§ 106. Мы видѣли (§ 7), что для опредѣленія горизонтальнаго проложенія какого нибудь участка земной поверхности надо знать не длины линій мѣстности, которыя бываютъ иногда наклонны къ горизонтальной плоскости, а горизонтальныя ихъ проложенія. Поэтому приведенные въ предыдущемъ способы измѣренія линій применимы только тогда, когда мѣстность горизонтальна; въ противномъ случаѣ надо, кромѣ измѣренія этими способами наклонной линіи, опредѣлить еще уголъ наклоненія ея или относительную высоту одной конечной точки линіи надъ другою конечною точкою и по полученнымъ даннымъ вычислить длину горизонтальнаго проложенія линіи или же надо измѣнить предыдущіе способы измѣренія такъ, чтобы вмѣсто длины наклонной линіи получать непосредственно горизонтальную ея проекцію.

*Первый* изъ этихъ способовъ опредѣленія горизонтальной проекціи линіи помощью ея угла наклоненія наиболѣе употребителенъ, потому что быстрѣе приводитъ къ результатамъ. Онъ основывается на слѣдующемъ: допустимъ, что на мѣстности измѣрена длина линіи  $AB = d$  (черт. 176), наклоненная къ горизонту подъ угломъ  $\alpha$ , и требуется опредѣлить горизонтальное проложеніе. Если чрезъ  $B$  проведемъ отвѣс-

Черт. 176.



ную линію  $BC$ , а чрезъ  $AB$  и  $BC$  вообразимъ плоскость, которая пересѣчетъ горизонтальную по линіи  $AC$ , то уг.  $BAC = \alpha$  будетъ уголъ наклоненія линіи  $AB$ , а  $AC = D$  ея горизонтальная проекція, подлежащая опредѣленію. Изъ треугольника  $ABC$  имѣемъ

$$D = d \cos \alpha.$$

Казалось бы, что этою формулою, какъ рѣшающею вопросъ, можно было бы удовольствоваться, но въ виду того, что уг.  $\alpha$  въ большинствѣ случаевъ не великъ, а  $\cos$  малыхъ угловъ измѣняются очень медленно, величина  $D$ , вычисленная по предыдущей формулѣ, не будетъ имѣть необходимую точность. А потому перейдемъ отъ предыдущей формулы къ такой, въ которой уголъ  $\alpha$  стоитъ подъ знакомъ  $\sin$ , быстрѣе измѣ-

няющимъ при небольшомъ углѣ  $\alpha$ . Обѣ части предыдущаго равенства вычтемъ изъ  $d$  и получимъ:

$$d - D = x = d (1 - \cos \alpha),$$

откуда

$$x = 2d \sin^2 \frac{1}{2} \alpha.$$

Здѣсь  $x = d - D$  выражаетъ поправку, которую надо вычесть изъ  $d$  для получения  $D$ , ибо  $d - (d - D) = D$ .

Если уголъ наклоненія линіи мѣстности измѣняется такъ, что на разстояніяхъ  $d, d', d'', \dots$ , непосредственно другъ за другомъ слѣдующихъ, онъ будетъ соотвѣтственно  $\alpha, \alpha', \alpha'', \dots$ , то не трудно убѣдиться, что длина горизонтальнаго проложенія  $D$  такой линіи выразится формулою

$$D = d \cos \alpha + d' \cos \alpha' + d'' \cos \alpha'' + \dots$$

Откуда

$$(d + d' + d'' + \dots) - D = 2d \sin^2 \frac{1}{2} \alpha + 2d' \sin^2 \frac{1}{2} \alpha' + 2d'' \sin^2 \frac{1}{2} \alpha'' + \dots$$

или

$$x = \Sigma 2d \sin^2 \frac{1}{2} \alpha,$$

гдѣ  $x = (d + d' + d'' + \dots) - D$  есть поправка, которую нужно вычесть изъ измѣренной длины  $d + d' + d'' + \dots$  линіи мѣстности, чтобы получить ея горизонтальную проекцію  $D$ , а знакъ  $\Sigma$  (сигма) выражаетъ сумму всѣхъ членовъ вида  $2d \sin^2 \frac{1}{2} \alpha$ .

Хотя вычисленіе предыдущей поправки  $x$  по формулѣ производится очень просто, тѣмъ не менѣе большое число этихъ вычисленій требуетъ значительнаго времени. Для ускоренія работы въ этомъ отношеніи въ концѣ книги приложена таблица IV, въ которой расположены величины  $x$ , вычисленныя при измѣненіи  $\alpha$  отъ  $1^\circ$  до  $45^\circ$ , а длины  $d$  отъ 1 до 10 саж.

Для уясненія употребленія этой таблицы возьмемъ примѣры:

а) На мѣстности измѣрена линія  $d = 93,6$  саж., имѣющая уголъ наклоненія  $\alpha = 7^\circ$ ; надо опредѣлить ея горизонтальную проекцію  $D$ . Изъ таблицы видимъ, что при  $d = 10$  саж. и  $\alpha = 7^\circ$  поправка  $x = 0,07$ , а потому

$$\text{для 9 цѣпей поправка будетъ} \dots \dots \dots 9 \times 0,07 = 0,63;$$

затѣмъ таблица даетъ:

$$\text{для 3 сажень поправку} \dots \dots \dots = 0,02$$

$$\text{для 0,6 саж. поправку} \dots \dots \dots = 0,00$$

$$\text{Слѣд. поправка для линіи въ 93,6 саж. есть} \dots \dots \dots 0,65 \text{ с.}$$

Вслѣдствіе чего

$$D = 93,6 - 0,65 = 92,95 \text{ саж.}$$

или, ограничиваясь десятыми долями,

$$D = 93,0 \text{ саж.}$$

б) На мѣстности измѣрена линія въ 444,3 саж., уголъ наклоненія которой измѣняется, а именно:

до 137,2 саж. уг. наклон.	5°
" 163,5 " " "	10°
" 172,0 " " "	25°
" конца линии (444,3 <sup>с</sup> )	14°.

Беремъ изъ таблицы поправки:

для 137,2	0,45
" 163,5 — 137,2 = 26,3	0,40
" 172,0 — 163,5 = 8,5	0,80
" 444,3 — 172,0 = 272,3	8,17
Сумма погр. = 9,82.	

Слѣдовательно

$$D = 444,3 - 9,82 = 434,48 \text{ саж.}$$

или окончательно

$$D = 434,5 \text{ саж.}$$

Изъ числовыхъ величинъ предыдущей таблицы видно, что малые углы наклоненія незначительно вліяютъ на длину наклонной линіи. По формулѣ

$$x = 2d \sin^2 \frac{1}{2}\alpha$$

можно найти наибольшую величину угла наклоненія, не вліяющую на длину линіи, для чего уголь наклоненія  $\alpha$  надо опредѣлить изъ неравенства

$$\sin^2 \frac{1}{2}\alpha < \frac{x}{2d},$$

въ которомъ вмѣсто  $\frac{x}{d}$  нужно подставить предѣльную ошибку измѣренія линіи, имѣющей длину  $d$ . Такъ напр. впоследствии мы увидимъ, что предѣльная ошибка измѣренія линіи цѣпью есть вообще  $\frac{1}{500}$ ; поэтому наибольшій наклонъ линіи къ горизонту, не вліяющій на результатъ измѣренія, опредѣлится изъ неравенства

$$\sin^2 \frac{1}{2}\alpha < \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{500} = \frac{1}{1000};$$

откуда

$$\alpha < 3^\circ, 6.$$

Отсюда видимъ, что при измѣреніи на мѣстности линій *цѣпью* углы наклоненія, меньшіе  $3^\circ$ , можно совсѣмъ не принимать во вниманіе. Нужно однако имѣть въ виду, что это заключеніе справедливо только для тѣхъ случаевъ, когда точность измѣренія линіи на мѣстности такова, что предѣльная ошибка измѣренія ея не менѣе  $\frac{1}{500}$ ; подобнымъ же образомъ найдемъ, что при измѣреніи линій *стальной лентой* не слѣдуетъ принимать во вниманіе углы наклоненія, меньшіе  $1^\circ, 5$ .

Оставляя описаніе устройства и употребленія снаряда, служащаго для измѣренія угловъ наклоненія линіи мѣстности, до слѣдующаго параграфа, покажемъ здѣсь какъ вычислить горизонтальное проложеніе наклонной линіи по данной длинѣ ея и относительной высотѣ одной конечной точки наклонной линіи надъ другою конечною ея точкою. Если

опять  $AB = d$  (черт. 176) есть данная длина наклонной линии и  $BC = h$  — известная относительная высота точки  $B$  надъ  $A$ , то искомое горизонтальное проложение  $AC = D$  будетъ

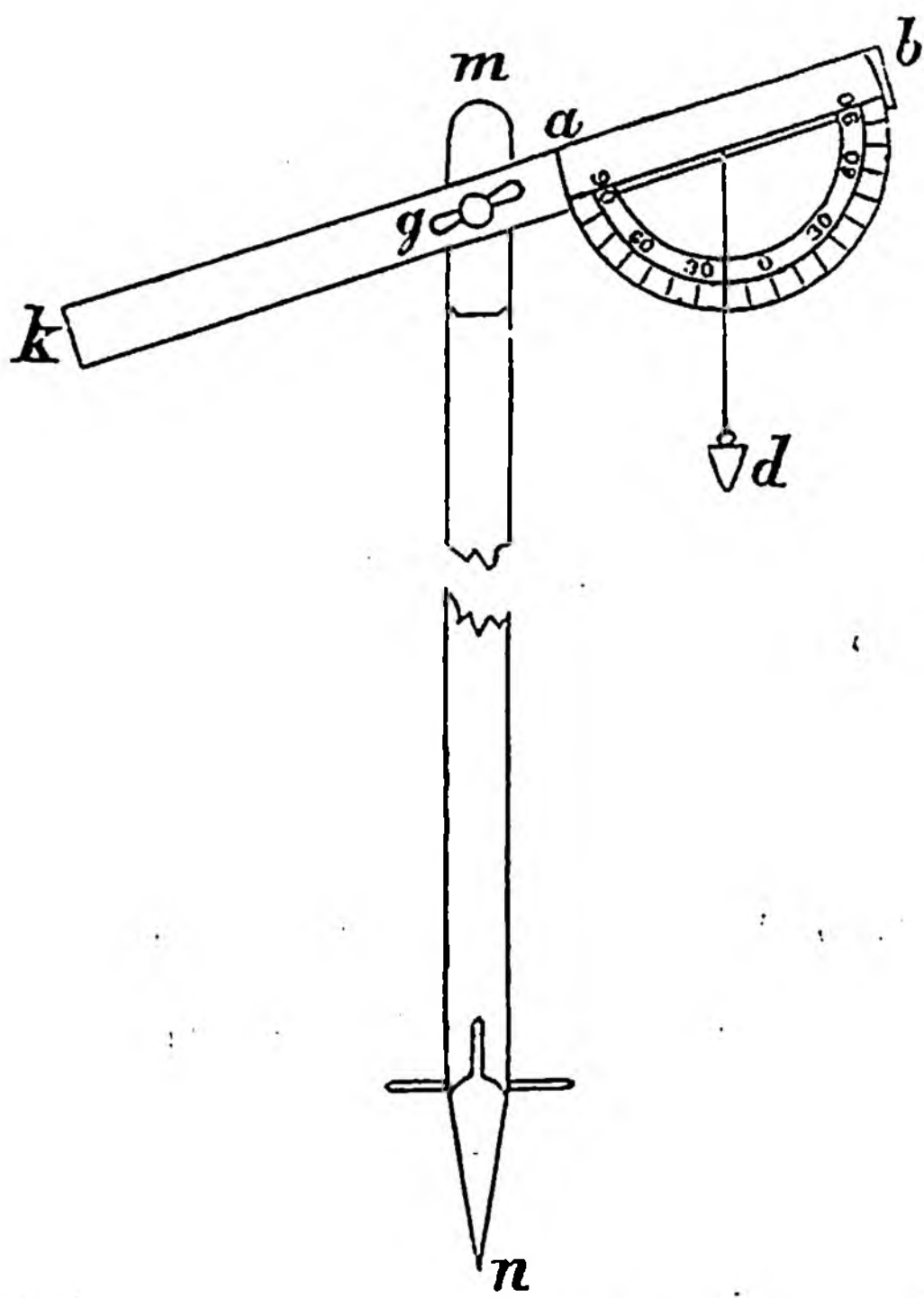
$$D = \sqrt{d^2 - h^2};$$

или для удобства вычисления

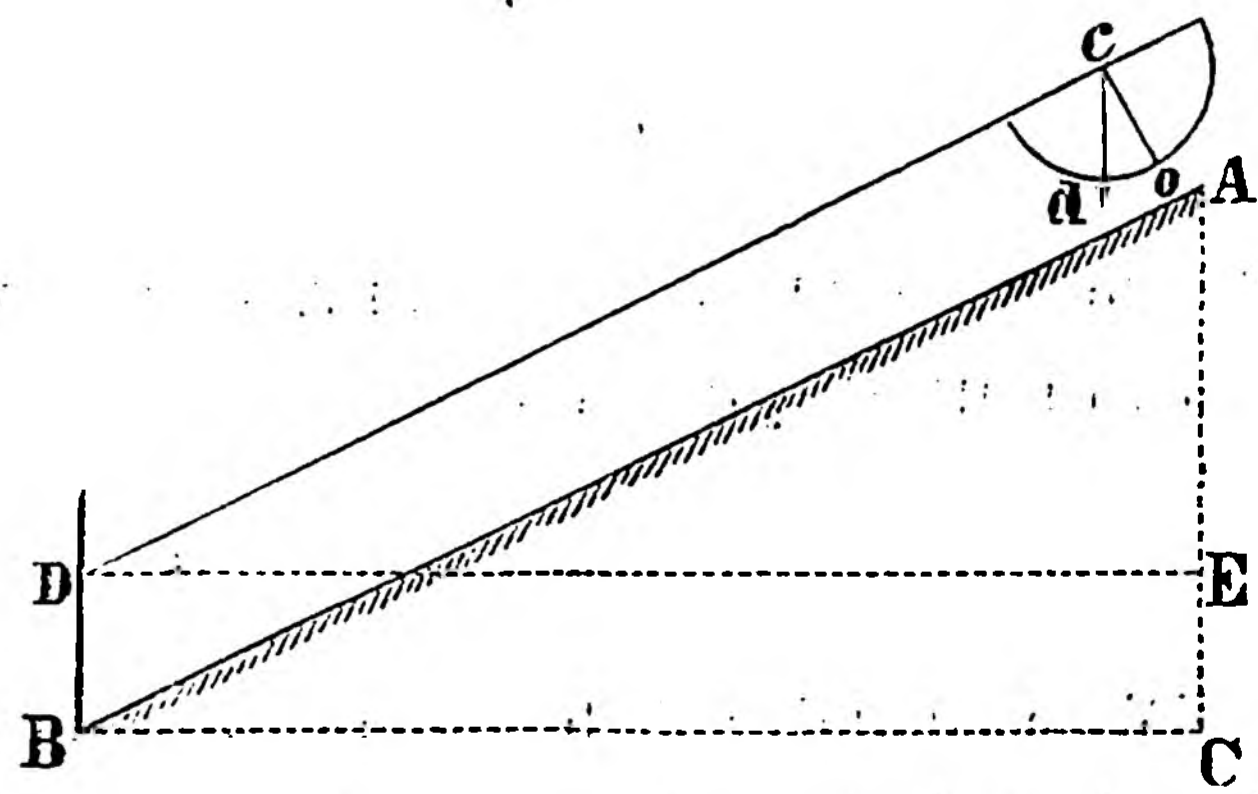
$$D = \sqrt{(d + h)(d - h)}.$$

§ 107. Для измѣренія угловъ наклоненія линий мѣстности употребляются особые снаряды — *эклиметры\**). Простѣйшій изъ нихъ состоитъ изъ линейки  $kb$  (черт. 177), вращающейся на оси, проходящей чрезъ штативъ — палку  $mn$ , и могущей прикрѣпляться къ этой послѣдней гайкою  $g$ . На одномъ концѣ линейки помѣщена полуокружность, въ центрѣ которой привѣшена нить съ отвѣсомъ  $d$ . Полукругъ раздѣленъ на градусы, подпись которыхъ идетъ отъ нуля въ обѣ стороны до  $90^\circ$ . Радиусъ полукруга, проходящій чрезъ  $0^\circ$ , долженъ быть перпендикуляренъ къ верхнему ребру линейки  $kb$ , служащему линіею визированія. Штативомъ эклиметру можетъ служить задній багоръ цѣпи, а потому если на мѣстности горизонтальной цѣпь употребляется безъ багровъ, то на мѣстности наклонной надо надѣть ее на багры.

Черт. 177.



Черт. 178.



Для измѣренія угла наклоненія линии  $AB$  (черт. 178) ставятъ въ  $A$  эклиметръ такъ, чтобы палка его была приблизительно вертикальна, а въ  $B$  ставятъ простой коль, на которомъ помѣчена точка  $D$  на высотѣ, равной разстоянію отъ нижней точки палки эклиметра до верхняго ребра линейки при перпендикулярности его къ оси палки. Затѣмъ ослабивъ гайку линейки, направляютъ верхнее ребро ея на  $D$ . Наконецъ закрѣпивъ линейку, отсчетъ по нити отвѣса выразитъ градусную величину угла наклоненія. Дѣйствительно, если  $BC$  есть линія

\*) Происходитъ отъ греч. словъ: *clino* — съ, *ex* — наклоняю и *metrein* — измѣрять.

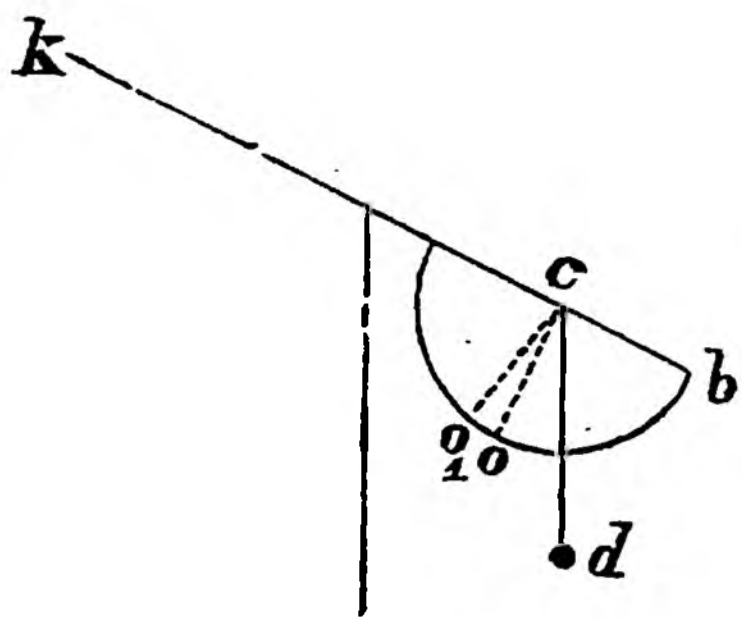
горизонтальная, то уг.  $ABC = \alpha$ , представляющій уголъ наклоненія линіи  $AB$  мѣстности, равенъ по перпендикулярности сторонъ углу  $osd$  на эклиметрѣ.

Условіе, требуемое отъ эклиметра, состоитъ, какъ уже сказано, въ томъ, что нулевой радіусъ полукруга долженъ быть перпендикуляренъ къ верхнему ребру линейки. Оно повѣряется измѣреніемъ на мѣстности угла наклоненія одной и той же линіи два раза: одинъ разъ, помѣстивъ глазъ при точкѣ  $k$  (черт. 177) линейки, а другой разъ — повернувъ эклиметръ вмѣстѣ съ палкою на  $180^\circ$  и помѣстивъ глазъ при точкѣ  $b$ . Если въ первый разъ отсчетъ на эклиметрѣ былъ  $\alpha$ , а во второй разъ  $\alpha_1$ , то погрѣшность  $x$  въ выполненіи требуемаго условія будетъ

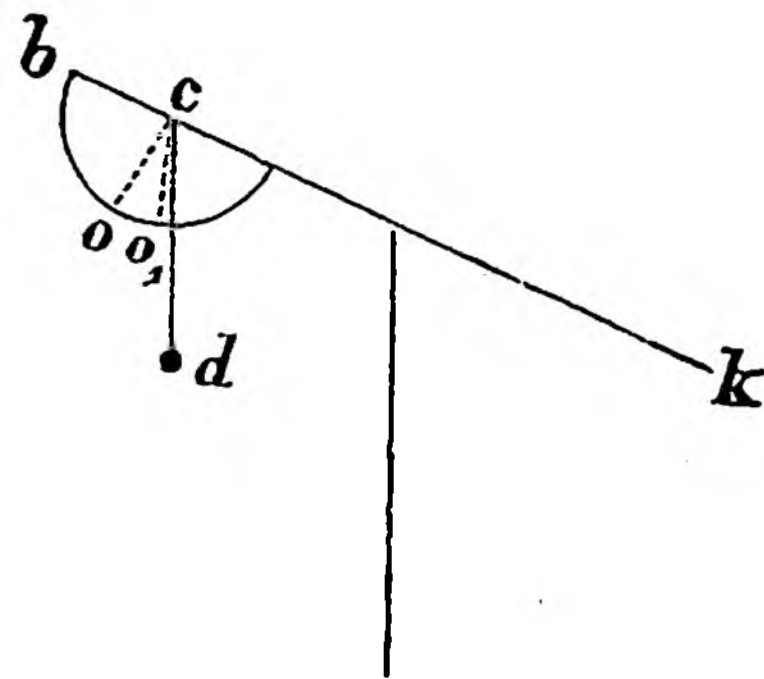
$$x = \frac{1}{2} (\alpha - \alpha_1).$$

Доказывается это такъ: положимъ что глазъ наблюдателя находится при точкѣ  $k$  и ребро  $kb$  линейки направлено на вершину кола, выставленнаго въ концѣ линіи; тогда, если  $o$  (черт. 179) есть вѣрное положеніе нуля полукруга,  $o_1$  — ошибочное его положеніе, то уголъ  $osd_1 = dco_1 = o_1co$  выражаетъ вѣрный уголъ наклоненія. Если обозначимъ

Черт. 179.



Черт. 180.



его чрезъ  $a$ , уголъ  $dco_1$ , соответствующій отсчету по эклиметру, чрезъ  $\alpha$  и ошибочный уголъ  $oso_1$  чрезъ  $x$ , имѣемъ

$$a = \alpha - x.$$

Повернувъ эклиметръ вмѣстѣ съ его палкою на  $180^\circ$  и вновь направивъ ребро линейки на вершину того же кола, будемъ имѣть по черт. 180

$$a = \alpha_1 + x,$$

гдѣ  $\alpha_1$  есть отсчетъ по эклиметру, соответствующій углу  $o_1cd$ . Вычитая второе равенство изъ перваго, получимъ

$$x = \frac{1}{2} (\alpha - \alpha_1).$$

Ошибка  $x$  уничтожается измѣненіемъ мѣста прикрѣпленія полукруга къ линейкѣ.

Если равенства

$$a = \alpha - x \quad \text{и} \quad a = \alpha_1 + x$$

сложить, то получимъ

$$a = \frac{1}{2} (\alpha + \alpha_1).$$

Отсюда видно, что и невѣрнымъ эклиметромъ можно опредѣлять вѣрный уголъ наклоненія, но въ виду того, что необходимыя для этого два наблюденія при двухъ положеніяхъ полукруга эклиметра замедляютъ работу, лучше отдать эклиметръ исправить.

При выводѣ формулы

$$x = \frac{1}{2} (\alpha - \alpha_1)$$

изъ чертежей 179 и 180 предполагалось, что отсчеты  $\alpha$  и  $\alpha_1$  сдѣланы въ разныя стороны отъ точки  $o_1$ ; если же отсчеты будутъ сдѣланы въ одну сторону отъ  $o_1$ , то ошибка  $x$  опредѣлится по формулѣ

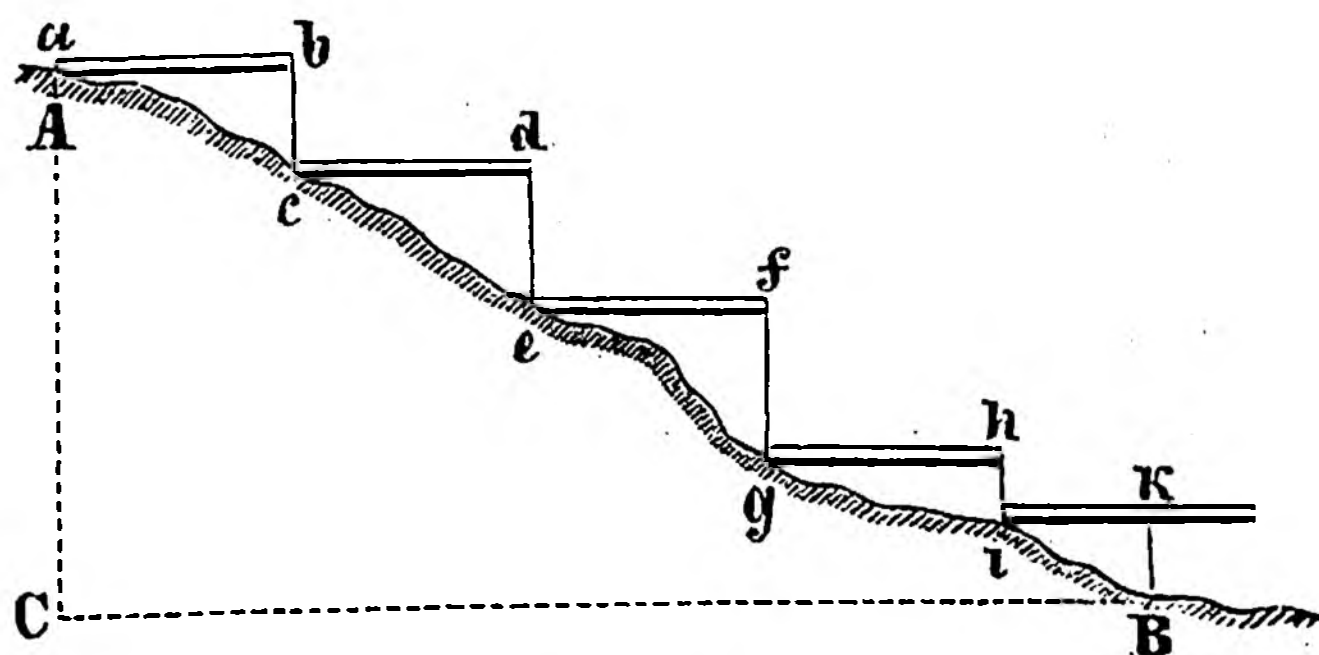
$$x = \frac{1}{2} (\alpha + \alpha_1).$$

Въ этомъ можно убѣдиться изъ построенія чертежей, аналогичныхъ съ чертежами 179 и 180.

Иногда на дугахъ эклиметровъ кромѣ штриховъ, соотвѣствующихъ угламъ наклоненія, назначается еще другой рядъ штриховъ съ надписью тѣхъ поправокъ, которыя нужно вычесть изъ длины мѣрительнаго снаряда, лежащаго на наклонной линіи, чтобы получить длину его горизонтальнаго проложенія. Такое приспособленіе, употребляющееся въ Пруссіи, ускоряетъ полученіе горизонтальной проекціи наклонной линіи.

**§ 108.** *Второй* способъ опредѣленія горизонтальной проекціи линіи состоитъ въ непосредственномъ проекціи измѣреніи; для чего употребляютъ не всю длину цѣпи въ 10 сажень, а смотря по большому или меньшему наклону линіи часть ея въ 2 или 5 сажень. Эту часть цѣпи не кладутъ на землю, а вытягиваютъ горизонтально; при этомъ, чтобы по тяжести своей она не слишкомъ отвисала ее поддерживаютъ по срединѣ. Опустивъ отвѣсъ съ приподнятаго конца цѣпи, замѣчаютъ на землѣ соотвѣтственную точку, въ которую затѣмъ и переносятъ задній конецъ цѣпи и продолжаютъ измѣреніе такимъ же порядкомъ далѣе.

Черт. 181.

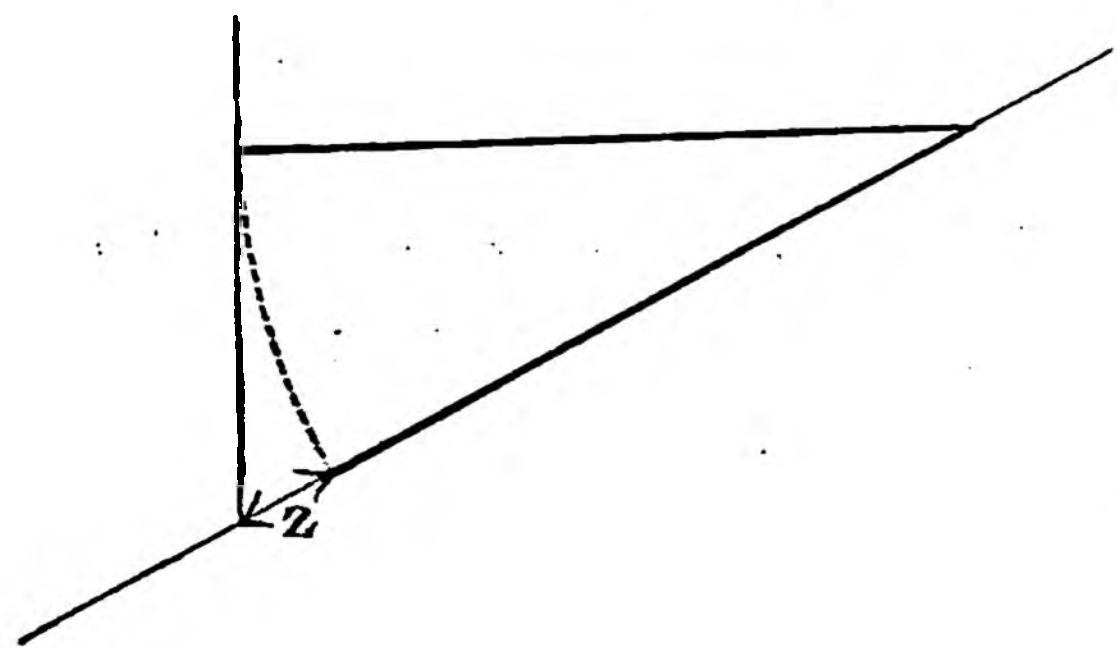


Для избѣжанія сильнаго натяженія цѣпи, отчего разгибаются ея кольца и даже можетъ произойти разрывъ, лучше при этомъ способѣ измѣренія наклонной линіи употреблять деревянную сажень. Положивъ одинъ конецъ сажени въ начальную точку  $a$  (черт. 181), направляютъ ее вдоль измѣряемой линіи  $AB$ , приподнимаютъ передній конецъ  $b$  настолько, чтобы сажень была горизонтальна и къ  $b$  придвигаютъ вертикально призматическій брусь. Этотъ брусь ставится вертикально или на-глазъ



при небольшомъ наклонѣ, или непременно по отвѣсу въ случаѣ крутой покатости. Горизонтальное положеніе сажени опредѣляется тѣмъ, что наклоняя и поднимая передній конецъ ея заставляютъ его описывать дугу круга, центръ которой совпадаетъ съ заднимъ неподвижнымъ концомъ; при этомъ то положеніе сажени есть горизонтальное, которое

Черт. 182.



соотвѣтствуетъ *наибольшему* удаленію вертикальнаго бруса отъ неподвижнаго конца сажени. Замѣтивъ точку *c*, переносятъ въ нее задній конецъ сажени и продолжаютъ измѣреніе уступами такъ, какъ показано на чертежѣ. Для ускоренія работы горизонтальную установку сажени и вертикальную установку бруса

дѣлаютъ при одномъ и томъ же наклонѣ только одинъ разъ; затѣмъ, замѣтивъ разницу *z* (черт. 182) между длиною сажени и соотвѣтственною длиною на наклонной линіи, прибавляютъ эту разницу къ каждому отложенію сажени по наклонной линіи.

**§ 109.** Чтобы составить себѣ понятіе о точности измѣренія линій мѣстности, всего проще принять, что *ошибка пропорціональна длинѣ линіи*. Исходя изъ этого допущенія, измѣряли на мѣстности линіи, длины которыхъ получены изъ точныхъ тригонометрическихъ дѣйствій; при этомъ найдено что предѣльная относительная ошибка измѣренія линій *цѣпью* въ случаѣ мѣстности благопріятной, т. е. ровной и плотной, есть  $\frac{1}{1000}$ ; въ случаѣ мѣстности менѣе благопріятной (каменистой, болотистой или песчаной) ошибка увеличивается и на поверхности неровной, бугристой опускается до  $\frac{1}{400}$ ; вообще же, круглымъ числомъ, можно принять [предѣльную ошибку измѣренія] линіи цѣпью въ  $\frac{1}{300}$ , такъ что линія длиною въ 500 саж. можетъ получиться или въ 499 или въ 501 сажень. Подобнымъ же путемъ обнаружено, что предѣльная ошибка измѣренія линіи стальною мѣрительною лентою по крайней мѣрѣ *вдвое* менѣе и можетъ быть принята равною  $\frac{1}{1000}$ , а предѣльная ошибка измѣренія брусьями — еще менѣе. Это повышеніе точности измѣренія линіи лентою сравнительно съ точностью измѣренія той же линіи цѣпью легко объясняется неодинаково сильнымъ натяженіемъ цѣпи и тѣмъ, что длина цѣпи измѣняется отъ согнутія колѣнъ и отъ растяженія и стиранія внутреннихъ поверхностей колець, соединяющихъ колѣна между собою; тогда какъ длина ленты мало подвержена нѣкоторымъ изъ этихъ измѣненій и совсѣмъ не подвержена другимъ.

Позднѣйшія изслѣдованія точности измѣренія линій на мѣстности показали, что это простое допущеніе — пропорціональность предѣльной ошибки длинѣ линіи — даетъ величины довольно согласныя съ опытомъ при длинахъ до 500 саж.; выше же этого предѣльная ошибка подчиняется болѣе строгому условію.

Въ концѣ книги помѣщена таблица V, которая даетъ величины разницъ, допускаемыхъ между двумя измѣреніями одной и той же линіи

*цѣпью*. Эта таблица можетъ также служить и для полученія предѣльной разницы двухъ измѣреній линіи *лентою*; ибо зная, что точность измѣренія линіи *лентою* вдвое болѣе точности измѣренія ея *цѣпью*, надо разницу, взятую изъ таблицы для *цѣпи*, уменьшить вдвое.

Выведемъ теперь тѣ формулы, которыя послужили для полученія числовыхъ величинъ таблицы V.

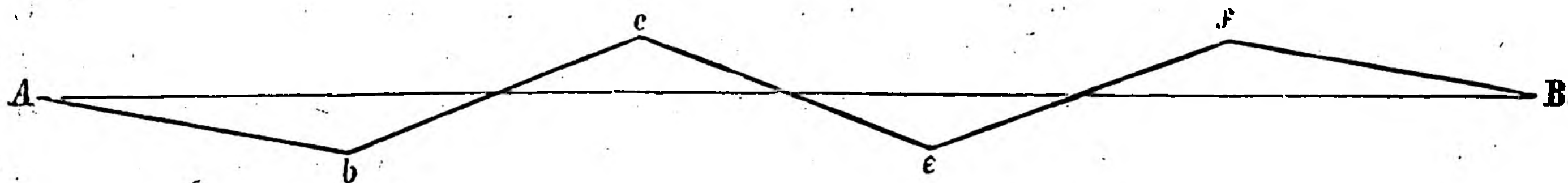
При непосредственномъ измѣреніи линій на мѣстности нужно различать двоякаго рода неизбежныя погрѣшности: *случайныя или неправильныя и систематическія или правильныя*. Извѣстно, что *случайными* погрѣшностями называются такія, которыя происходятъ отъ случайныхъ причинъ одинаково вѣроятно могутъ увеличить или уменьшить результатъ, т. е. войти въ него со знакомъ  $+$  или  $-$ . Главнѣйшія такія погрѣшности при измѣреніи линіи *лентою* или *цѣпью* суть: неточное обозначеніе колышкомъ конца ленты (*цѣпи*), неточное приложеніе къ колышку конца ленты (*цѣпи*) и неодинаковое натяженіе ленты (*цѣпи*) при измѣреніи. Извѣстно также (§ 26, формула VI), что средняя ошибка измѣренія линіи, происходящая отъ случайныхъ причинъ, прямо пропорціональна корню квадратному изъ числа отложеній на мѣстности мѣрительнаго снаряда; а именно  $M_1 = m_1 \sqrt{n}$ , гдѣ  $m_1$  есть средняя ошибка одного отложенія, а  $n$  — число этихъ отложеній. Если длину мѣрительнаго снаряда обозначимъ чрезъ  $\lambda$ , а длину измѣряемой линіи чрезъ  $s$ , то  $s = n\lambda$ . Подставивъ это въ предыдущее равенство и обозначая  $\frac{m_1}{\sqrt{\lambda}}$  чрезъ  $m$ , имѣемъ

$$M_1 = m \sqrt{s}.$$

Здѣсь  $m$  наз. *среднею ошибкою единицы мѣры*. Это равенство показываетъ, что средняя ошибка измѣренія линіи на мѣстности, происходящая отъ случайныхъ причинъ, пропорціональна корню квадратному изъ ея длины.

Погрѣшности *систематическія или правильныя* вліяютъ на результатъ измѣренія всегда одинаково, — онѣ или увеличиваютъ его, или уменьшаютъ. Вотъ главнѣйшія систематическія ошибки: а) погрѣшность отъ неточной длины ленты (*цѣпи*); хотя длина мѣрительнаго снаряда непременно повѣряется передъ употребленіемъ, тѣмъ не менѣе всякая вывѣрка сопровождается неизбежною погрѣшностью, которая будетъ входить въ каждое отложеніе снаряда по измѣряемой линіи всегда съ однимъ и тѣмъ же знакомъ; б) погрѣшность отъ такого наклона ленты (*цѣпи*), которая въ отдѣльности не имѣетъ вліянія на результатъ измѣренія (напр. для *цѣпи* наклонъ линіи менѣе  $3^\circ$ ), но повторяясь нѣсколько

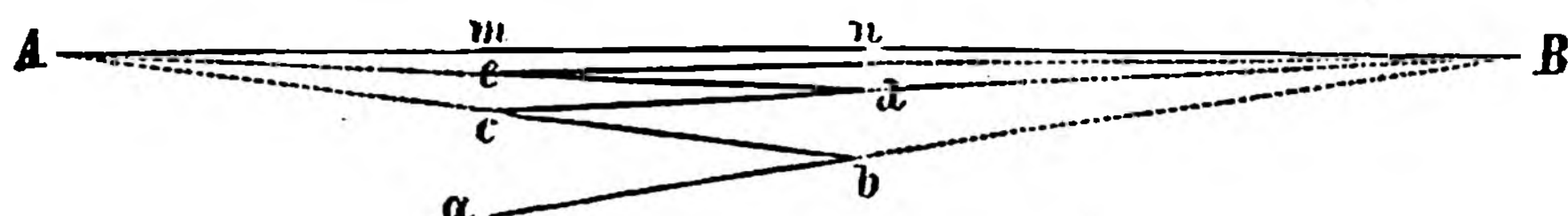
Черт. 183.



разъ, дѣлается ощутительною; с) уклоненіе ленты (*цѣпи*) отъ направленія измѣряемой линіи. Въмѣсто отложенія ленты (*цѣпи*) точно по направленію линіи  $AB$  (черт. 183), она кладется по  $Ab, bc, \dots fB$ , вслѣдствіе чего въ результатъ получается длина не прямой  $AB$ , а ломанной  $Abc\dots fB$ . Эти боковыя уклоненія могутъ быть сравниваемы съ уклоненіями мѣрительнаго снаряда отъ горизонтальнаго направленія, а потому

при возможно тщательномъ отложеніи его по направленію  $AB$  они ощутительны только въ массѣ и не имѣютъ значенія въ отдѣльности. Въ случаѣ если почему либо произошло нѣкоторое уклоненіе цѣпи, какъ напр.  $ab$  (черт. 184), обнаруженное въ срединѣ линіи  $AB$ , то исправленіе его понятно изъ чертежа; d) погрѣшность, происходящая отъ того, что при натяженіи ленты (цѣпи) багоръ задняго рабочаго подается нѣсколько впередъ; e) погрѣшность въ длинѣ ленты (цѣпи) отъ измѣненія ея температуры, которая однако во все время измѣренія одной и той же

Черт. 184.



линіи можетъ считаться постоянною; f) *всегда* излишнее или *всегда* недостаточное натяженіе ленты (цѣпи) вдоль измѣряемой линіи. Понятно, что каждая изъ этихъ погрѣшностей, дѣйствуя постоянно въ одну сторону, увеличиваетъ или уменьшаетъ результатъ тѣмъ болѣе, чѣмъ большее число разъ отложенъ мѣрительный снарядъ по линіи или, иначе, чѣмъ болѣе длина линіи. Если эта длина есть  $s$ , то сумма вліяній всѣхъ систематическихъ ошибокъ будетъ  $M_2 = \pm ks$ , гдѣ  $k$  есть постоянное число.

На основаніи этого, средняя ошибка совокупнаго дѣйствія случайныхъ и систематическихъ ошибокъ, принимая во вниманіе, что при выводѣ формулы (V) § 26 членъ  $\frac{(\Delta_1 \Delta_2)}{n}$  стремится къ нулю даже и тогда, когда только одна изъ погрѣшностей  $\Delta_1$  или  $\Delta_2$  случайна, т. е. одинаково вѣроятно, что она положительна или отрицательна, будетъ

$$M = \sqrt{M_1^2 + M_2^2}$$

или

$$M = \sqrt{(m\sqrt{s})^2 + (ks)^2} = \sqrt{m^2 s + k^2 s^2}$$

$$= a\sqrt{bs + cs^2},$$

гдѣ

$$b = \frac{m^2}{a^2} \text{ и } c = \frac{k^2}{a^2}.$$

Помимо этого теоретическаго пути, предыдущая формула можетъ быть получена и практически. Для этого изъ большаго числа сравненій измѣренія линій цѣпью или лентою съ болѣе точною длиною тѣхъ же линій были сначала опредѣлены погрѣшности этихъ измѣреній. Затѣмъ эти погрѣшности были сгруппированы для длинъ: отъ 100 до 120, отъ 120 до 140, отъ 140 до 160 метровъ и т. д. Взявъ среднее изъ нихъ для каждой группы, нанесли эту величину въ видѣ ординаты для средней арифметической изъ всѣхъ длинъ группы. Наконецъ, соединивъ концы этихъ ординатъ, получена кривая линія, изобразившая графически законъ распределенія погрѣшностей измѣренія линій на мѣстности. Эта кривая имѣетъ уравненіе вида

$$y = a\sqrt{bx + cx},$$

гдѣ  $y$  и  $x$  суть текуція координаты, а  $a$ ,  $b$  и  $c$  — постоянные коэффициенты. Тождественность этого уравненія съ предыдущимъ равенствомъ для  $M$

очевидна, если принять во внимание что  $s$  въ этомъ послѣднемъ равенствѣ выражаетъ длину той же линіи, какъ и  $x$  въ предыдущемъ уравненіи, а  $M$  есть  $y$ .

Принимая во вниманіе, что предѣльная ошибка равна учетверенной разности двухъ измѣреній, наибольшую допускаемую разницу двухъ измѣреній одной и той же линіи *цѣпью*, можно принять

- I. на почвѣ ровной, благопріятной . . . . .  $d = 0,02 \sqrt{4s + 0,005s^2}$   
 II. „ „ средней . . . . .  $d = 0,02 \sqrt{6s + 0,0075s^2}$   
 III. „ „ неровной, неблагопріятной..  $d = 0,02 \sqrt{8s + 0,01s^2}$

Эти формулы и послужили для вычисленія таблицы V.

Въ заключеніе о точности измѣренія линій мѣстности напомнимъ, что такъ какъ средняя ошибка ариѳметической середины

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}}$$

гдѣ  $m$  есть средняя ошибка *одного* измѣренія, а  $n$  — число ихъ, то въ случаѣ повторенія измѣреній одной и той же линіи два, три, . . . . раза средняя ошибка ариѳметической середины будетъ уменьшаться въ отношеніи чиселъ  $\sqrt{2}$ ,  $\sqrt{3}$ , . . . .

**§ 110.** Не смотря на различіе шага у различныхъ людей и при различныхъ обстоятельствахъ, длина его все-таки можетъ иногда служить достаточнымъ средствомъ для измѣренія разстояній при съемкѣ, потому что каждый съемщикъ легко можетъ опредѣлить среднюю длину своего шага. Въ самомъ дѣлѣ допустимъ, что на мѣстности измѣрена линія длиною во 100 саж. и что съемщикъ, пройдя по ней 4 раза, насчиталъ послѣдовательно: 275, 277, 274 и 279 шаговъ, тогда средняя длина его шага будетъ:

$$100^c: \frac{275 + 277 + 274 + 279}{4} = 100 : 276 = 0,36 \text{ саж.}$$

Такое опредѣленіе совѣтуется дѣлать на линіяхъ различнаго протяженія, на мѣстности ровной и кочковатой, на вспаханномъ полѣ, на травѣ и т. п. и брать затѣмъ среднее ариѳметическое. Для большинства людей средняго роста и средняго возраста длина шага равна 0,37 саж. Чтобы зная длину своего шага опредѣлить какое нибудь разстояніе на мѣстности, съемщикъ долженъ пройти его и сосчитать число заключающихся въ немъ шаговъ. Если въ нѣкоторой длинѣ съемщикъ насчиталъ 103 шага и если средняя длина его шага = 0,37 саж., то понятно искомое разстояніе будетъ:

$$103 \times 0,37 = 38 \text{ саж.}$$

Для упрощенія счета шаговъ ихъ считаютъ чрезъ шагъ, т. е. если считать *не каждый* шагъ, а пару произнося одинъ, два, три, . . . . только при постановкѣ на землю напр. правой ноги.

Счетъ числа шаговъ совершенно устраняется особымъ механизмомъ, заключеннымъ въ коробкѣ педометра. *Педометръ* или *подометръ*\*) бываетъ двухъ родовъ: одинъ изъ нихъ пристегивается своимъ крючкомъ къ петлѣ сюртука, а къ правой ногѣ съемщика привязывается бечевка, прикрѣпленная другимъ концомъ къ язычку педометра. Язычекъ выдвигается изъ коробки педометра при каждомъ вытягиваніи на ходьбѣ правой ноги и каждый разъ поворачиваетъ на одинъ зубецъ колесо счетнаго механизма; вмѣстѣ съ этимъ поворачивается и стрѣлка циферблата педометра. Понятно, что разность показаній послѣдней при началѣ и концѣ измѣряемаго разстоянія выразитъ число заключающихся въ немъ паръ шаговъ. Другаго рода педометръ имѣетъ видъ карманныхъ часовъ и вѣшается въ карманѣ жилета. Колесо этого педометра поворачивается съ каждымъ шагомъ съемщика вслѣдствіе паденія и подниманія молоточка, прикрѣпленнаго къ концу плоской стальной пружины. Разность отсчетовъ даетъ прямо измѣряемое разстояніе.

Для избѣжанія перемноженія чиселъ при опредѣленіи разстоянія въ саженьяхъ по данному числу шаговъ, въ особенности если достаточно знать *только* графическую величину этого разстоянія въ извѣстномъ масштабѣ, употребляется *масштабъ шаговъ*. Построеніе его зависитъ какъ отъ масштаба составленія плана, такъ и отъ длины шага. Положимъ, что масштабъ плана есть  $\frac{1}{8400}$ , т. е. 100 саж. въ 1 англ. дюймѣ, а длина шага съемщика = 0,37 саж.; тогда одному дюйму или 100 саженьямъ масштаба плана соотвѣтствуетъ  $\frac{100}{0,37} = 270$  шаговъ или 135 паръ шаговъ. Но такъ какъ употребленіе масштаба, одинъ дюймъ котораго соотвѣтствуетъ 135 парамъ шаговъ, неудобно, потому что при имѣющемся въ виду раздѣленіи основанія масштаба на 10 равныхъ частей каждая часть его будетъ выражать дробное число паръ шаговъ; то найдемъ такую часть дюйма которая соотвѣтствовала бы ближайшему круглому числу паръ шаговъ, напр. 100 парамъ. Это дѣлается по пропорціи

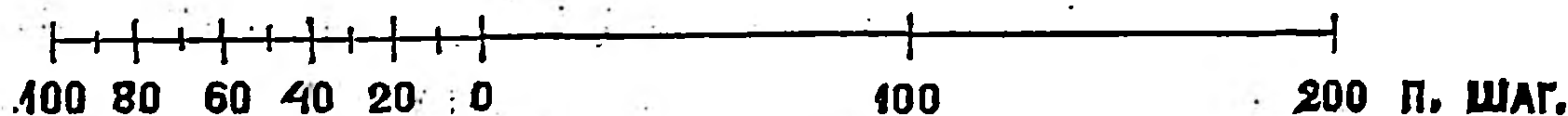
$$135 : 100 = 100 : x;$$

отсюда

$$x = \frac{10000}{135} = 74,0 \text{ саж.}$$

Взявъ 74,0 саж. по масштабу плану, въ нашемъ случаѣ по масштабу  $\frac{1}{8400}$ , принимаютъ эту длину за основаніе масштаба шаговъ, которое

Черт. 185.



дѣлать на 10 равныхъ частей и получаютъ простой линейный масштабъ, изображенный на чертежѣ 185. Употребленіе масштаба шаговъ

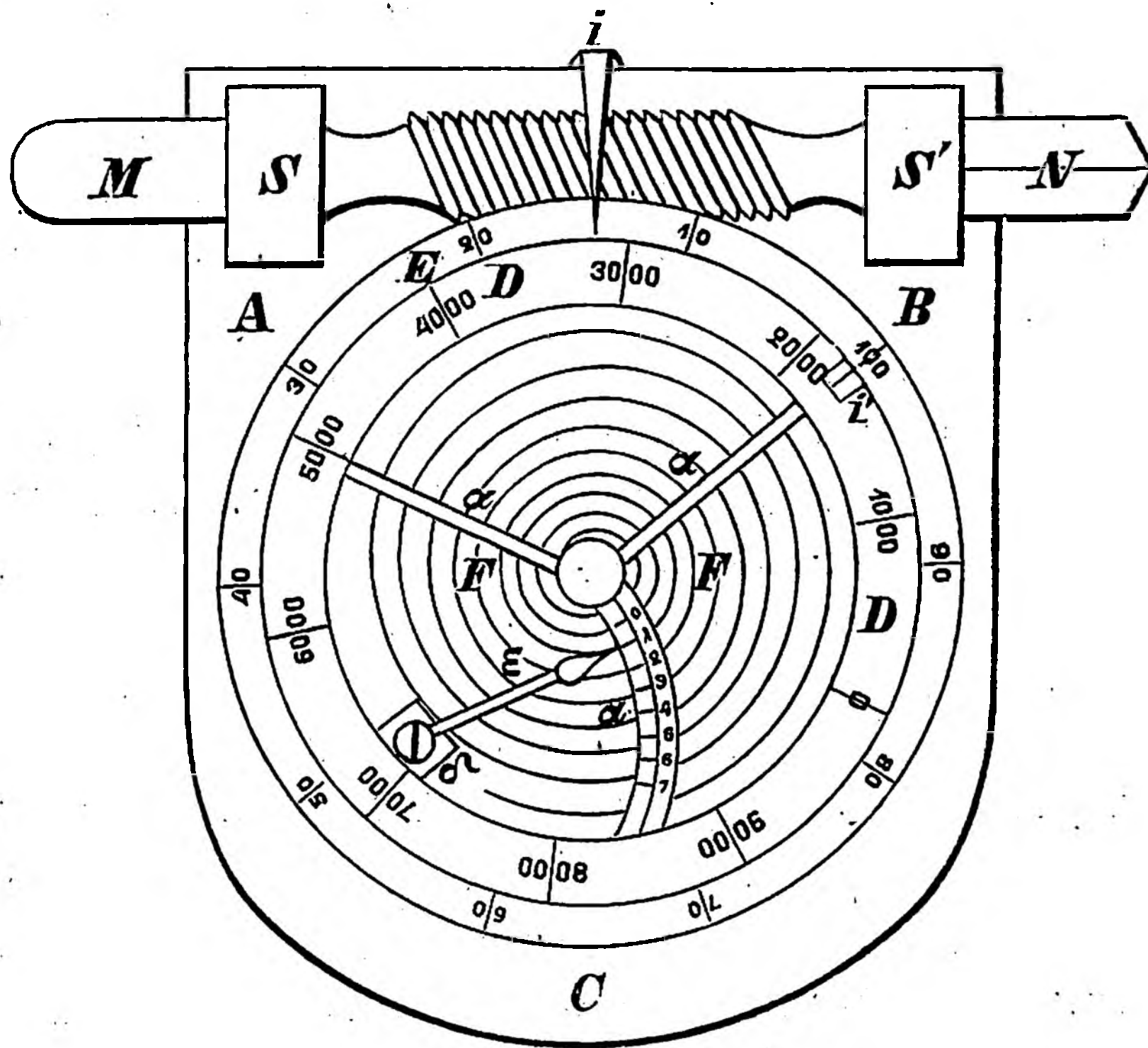
\*) *Педометръ* — отъ 2 греческихъ словъ: *pedon* — поверхность и *métrain* — измѣрять; *подометръ* же происходитъ отъ греческаго слова *podós* род. пад. отъ *pus* — нога.

то же, что и обыкновеннаго. Раствореніе циркуля, взятое по масштабу шаговъ при данномъ числѣ паръ этихъ послѣднихъ, даетъ разумѣется только графическую длину требуемаго разстоянія, а не числовую его величину.

Точность опредѣленія разстоянія шагами, обусловливающаяся правильностью и величиною шага, можетъ быть доведена до 2% или до  $\frac{1}{50}$ . Нѣсколько большею точностью пользуется опредѣленіе разстоянія оборотами колеса.

Для этого способа существуютъ особые снаряды, называющіеся *одо-метрами*\*). Одометръ бываетъ двухъ родовъ: одинъ состоитъ главнымъ образомъ изъ колеса съ извѣстною длиною обода (въ большинствѣ случаевъ 1 саж.) и изъ счетнаго механизма, которому посредствомъ рычага передается вращеніе колеса. Сверху счетнаго механизма имѣется циферблатъ, по которому движутся двѣ стрѣлки; первая изъ нихъ передвигается на одно дѣленіе циферблата послѣ каждаго полного оборота колеса, а вторая — передвигается на одно дѣленіе по совершеиіи первюю стрѣлкою полного оборота по циферблату. Показаніе обѣихъ стрѣлокъ есть опредѣляемое разстояніе въ саженяхъ и ея доляхъ. Другаго рода одометръ служитъ для счета числа оборотовъ экипажнаго колеса. Онъ состоитъ изъ металлическаго цилиндра, помѣщающагося въ кожаномъ футлярѣ, который притягивается ремнями между спицами колеса къ его ступицѣ и поворачивается вмѣстѣ съ колесомъ экипажа. Съ вращеніемъ футляра и цилиндра поворачивается также и ось  $MN$  (черт. 186) этого послѣдняго, ибо одинъ конецъ ея ( $N$ ), воткнутый въ средину дна цилиндра,

Черт. 186.



сдѣланъ граненымъ, а самый цилиндръ притянуть къ ступицѣ такъ, что ось  $MN$  приблизительно горизонтальна и параллельна оси экипажа. Счетный механизмъ, опредѣляющій число оборотовъ колеса или, все равно, оси  $MN$  соединяется съ этою осью и вслѣдствіе своей тяжести виситъ внутри цилиндра всегда отвѣсно. Устройство счетнаго механизма слѣдующее: ось  $MN$  съ винтовою нарезкою по срединѣ вращается въ двухъ

\*) Слово *одометръ* происходитъ отъ 2 греческихъ словъ: *hodos* — дорога, *métrain* — измѣрять.

стойкахъ  $S$  и  $S'$ , прикрѣпленныхъ къ металлической доскѣ  $ABC$ . Въ винтовую нарезку этой оси входятъ зубцы на ободкахъ кружка  $D$  и кольца  $E$ , вращающихся на одной общей оси, укрѣпленной въ доскѣ  $ABC$ . Кружокъ  $D$  имѣетъ на своемъ ободкѣ 99 равныхъ зубцовъ, а на верхней поверхности его вырѣзана спираль  $F$ . На кружкѣ  $D$  лежитъ кольцо  $E$ , соединенное съ своимъ центромъ тремя радиусами  $\alpha$ , одинъ изъ которыхъ имѣетъ видъ дуги съ центромъ въ точкѣ  $\delta$  кольца. Въ этой же точкѣ вращается стрѣлка  $\epsilon$ , движущаяся придѣланнымъ снизу ея шпилемъ по спиральному углубленію и концомъ своимъ указывающая на штрихи, назначенные на дугообразномъ радиусѣ  $\alpha$ . На ободкѣ кольца  $E$  сдѣлано 100 равныхъ зубцовъ. На кружкѣ  $D$  и кольцѣ  $E$  противъ каждого ихъ зубца нарезаны штрихи, числа которыхъ равны числамъ зубцовъ на кружкѣ и кольцѣ; а именно, на кружкѣ  $D$  назначено 99 штриховъ, а на кольцѣ  $E$  — 100 штриховъ. Отсчетъ на кольцѣ  $E$  дѣлается по показателю  $i$ , прикрѣпленному къ доскѣ  $ABC$ , а на кружкѣ  $D$  — по показателю  $i'$ , прикрѣпленному къ кольцу  $E$ . При полномъ оборотѣ колеса экипажа ось  $MN$  сдѣлаетъ также полный оборотъ и подъ показатель  $i$  подойдетъ слѣдующій штрихъ кольца  $E$ ; вслѣдствіе чего каждое дѣленіе кольца соотвѣтствуетъ одному обороту экипажного колеса. Когда ось  $MN$  сдѣлаетъ 100 оборотовъ, тогда кольцо  $E$  сдѣлаетъ полный оборотъ на своей оси, т. е. повернется на 100 дѣлений, а кружокъ  $D$  сдѣлаетъ одинъ полный оборотъ и повернется еще на одно дѣленіе, такъ что указатель  $i$  пройдетъ одно дѣленіе кружка  $D$  (ибо кружокъ имѣетъ только 99, а не 100 зубцовъ); вслѣдствіе этого каждое дѣленіе кружка  $D$  соотвѣтствуетъ одному полному обороту кольца  $E$  или, все равно, 100 оборотамъ экипажного колеса. Наконецъ, если кружокъ  $D$  сдѣлаетъ полный оборотъ, то показатель  $i'$  пройдетъ 99 дѣлений кружка и слѣдовательно экипажное колесо сдѣлаетъ  $99 \times 100 = 9900$  оборотовъ. Послѣ полного оборота кружка  $D$  стрѣлка  $\epsilon$  передвинется на одно дѣленіе дугообразнаго радиуса  $\alpha$ . И такъ, изъ этого описанія видно: показатель  $i$  даетъ число единицъ и десятковъ оборотовъ экипажного колеса, показатель  $i'$  — число сотенъ и тысячъ тѣхъ же оборотовъ и наконецъ стрѣлка  $\epsilon$  показываетъ сколько разъ повторилось число 9900 оборотовъ колеса. *Примѣръ*: положимъ, что при привязываніи одометра къ спицамъ экипажного колеса стрѣлка  $\epsilon$  стояла между штрихами 2 и 3, а показатели  $i$  и  $i'$  давали 3475; такъ что полный отсчетъ былъ:  $2 \times 9900 + 3475 = 23275$ . Послѣ совершенія нѣкотораго путешествія стрѣлка  $\epsilon$  стояла между 4 и 5 штрихами, а показатели  $i$  и  $i'$  давали 241; такъ что полный отсчетъ  $= 4 \times 9900 + 241 = 39841$ . Поэтому во время путешествія колесо экипажа сдѣлало  $39841 - 23275 = 16566$  оборотовъ. Если ободъ колеса  $= 0,95$  саж., то длина пройденнаго имъ пути  $= 16566 \times 0,95 = 29$  верстъ 200,7 саж.

Наконецъ надо сказать, что колесо одометра или экипажа, къ которому онъ привязанъ, подчиняется всѣмъ неправильностямъ дороги, по которой оно катится, вслѣдствіе чего результатъ измѣренія одометромъ выражаетъ не длину прямой, соединяющей данныя на землѣ точки, а длину пути, по которому его прокатятъ.

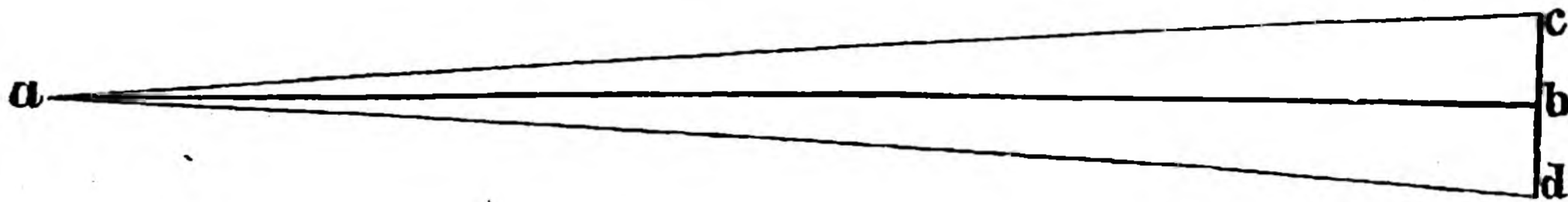
Разстояніе на мѣстности можетъ быть опредѣлено также на глазъ или, какъ говорятъ, *глазомѣрно*. Искусство такого способа оцѣнки пріобрѣтается навыкомъ, для чего опредѣляютъ разстояніе сначала на глазъ, а затѣмъ повѣряютъ это опредѣленіе или непосредственнымъ измѣреніемъ, или при помощи циркуля и масштаба по плану. На правильность оцѣнки разстоянія на глазъ имѣетъ вліяніе: а) *видимая величина предмета*, — при одной и той же его величинѣ онъ кажется тѣмъ

менше, чѣмъ болѣе разстояніе до него; в) *большая или меньшая ясность*, съ которою виденъ предметъ, — болѣе освѣщенный предметъ кажется ближе; с) *мѣсто нахождения предмета*, — если онъ на вершинѣ горы или за рѣкою, то кажется ближе, чѣмъ тогда, когда онъ внизу горы или за разнообразными мѣстными контурами; d) *время наблюденія*, — предметы въ сумерки кажутся дальше, а огонь ночью кажется ближе.

§ 111. *Дальномѣры*. Дальномѣромъ называется снарядъ, служащій для опредѣленія длины линіи мѣстности безъ непосредственнаго ея измѣренія. Если согласно теоріи дальномѣра въ точку, до которой опредѣляется разстояніе, нужно поставить брусъ съ имѣющимися на немъ дѣленіями или двумя дощечками (*цѣлями*), называемый *рейкою*, то такой дальномѣръ есть *дальномѣръ съ рейкою*; если же рейку ставить не надо, то имѣемъ *дальномѣръ безъ рейки*.

Чтобы опредѣлить какое нибудь разстояніе  $ab$  (черт. 187) на мѣстности не непосредственнымъ измѣреніемъ, нужно связать его съ двумя другими линіями такъ, чтобы образовался треугольникъ съ тремя извѣстными частями. Для простоты устройства дальномѣра опредѣляемое разстояніе  $ab$  дѣлаютъ или катетомъ прямоугольнаго треугольника  $cab$ , или

Черт. 187.



высотой равнобедреннаго треугольника  $cad$ . Предполагая, что въ первомъ случаѣ даны: длина линіи  $cb$  и уголъ  $cab$ , а во второмъ — линія  $cd$  и уголъ  $cad$ , представляются 4 случая опредѣленія длины линіи  $ab$ . Если дальномѣръ стоитъ въ  $b$ , то устройство его можетъ быть основано во 1) на томъ, что длина линіи  $bc$  или  $cd$  *постоянна*, а уголъ  $cab$  или  $cad$  *измѣняется* съ измѣненіемъ  $ab$  и во 2) на томъ, что уголъ  $cab$  или  $cad$  *постояненъ*, а длина  $bc$  или  $cd$  *измѣняется* съ измѣненіемъ  $ab$ . Тѣ же два случая могутъ служить основаніемъ устройства дальномѣра, помещающагося въ точкѣ  $a$ . На первыхъ двухъ случаяхъ основано устройство дальномѣровъ безъ реекъ, а на двухъ послѣднихъ — устройство дальномѣровъ съ рейками. Такъ какъ въ этихъ 4 случаяхъ уголъ  $a$  можетъ быть постояннымъ и измѣняющимся, то какъ дальномѣры съ рейками, такъ и дальномѣры безъ реекъ раздѣляются на *дальномѣры съ постояннымъ угломъ* и на *дальномѣры съ измѣняющимся угломъ*.

§ 112. Дальномѣры безъ реекъ по малой точности даваемыхъ ими результатовъ совсѣмъ не употребляются при инструментальныхъ съемкахъ, а служатъ только для цѣлей военныхъ: опредѣленіе разстоянія до непріятели, опредѣленіе дальности полета ядра и т. п.; а потому здѣсь мы дадимъ объ нихъ только понятіе и съ большею подробностью остановимся на дальномѣрахъ съ рейками.

Сдѣлаемъ краткое описаніе военнаго дальномѣра, предложеннаго *Главнымъ Штабомъ*, при устройствѣ котораго линія  $bc$  считается по-



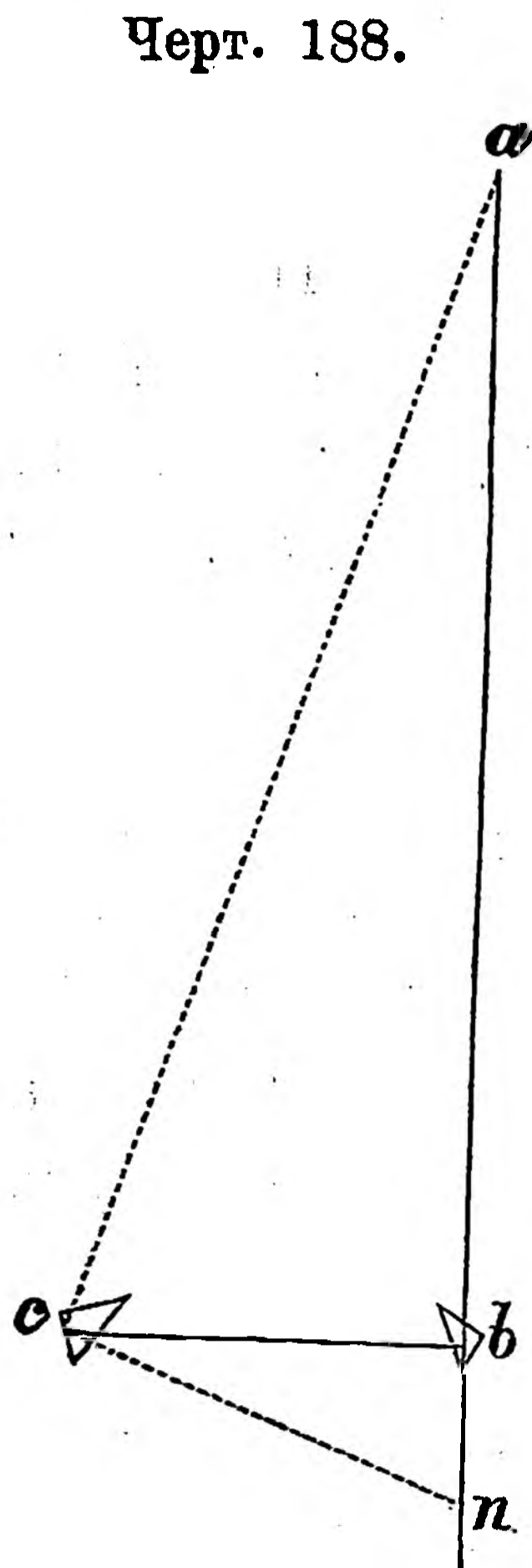
стоянною, а уголъ  $cab$  измѣняющимся съ измѣненіемъ разстоянія  $ab$ . Онъ состоитъ главнымъ образомъ изъ двухъ трехгранныхъ прямоугольныхъ призмъ  $b$  и  $c$  (черт. 188), помѣщаемыхъ въ оправкахъ и соединенныхъ между собою мѣрною тесьмою длиною въ 10 сажень. Одинъ изъ наблюдателей, способомъ указаннымъ впоследствии, опускаетъ посредствомъ призмы  $b$  изъ точки  $c$  перпендикуляръ  $cb$  на  $an$ , а другой наблюдатель посредствомъ призмы  $c$  возставляетъ перпендикуляръ  $cn$  къ  $ac$  и замѣчаетъ штрихъ  $n$  на линейкѣ  $bn$ , имѣющейся при призмѣ  $b$ ; тогда изъ прямоугольнаго треугольника  $асп$ , въ которомъ  $cb$  есть перпендикуляръ къ гипотенузѣ  $an$ , имѣемъ пропорцію:

$$bn : cb = cb : ba;$$

откуда

$$ba = \frac{cb^2}{bn}.$$

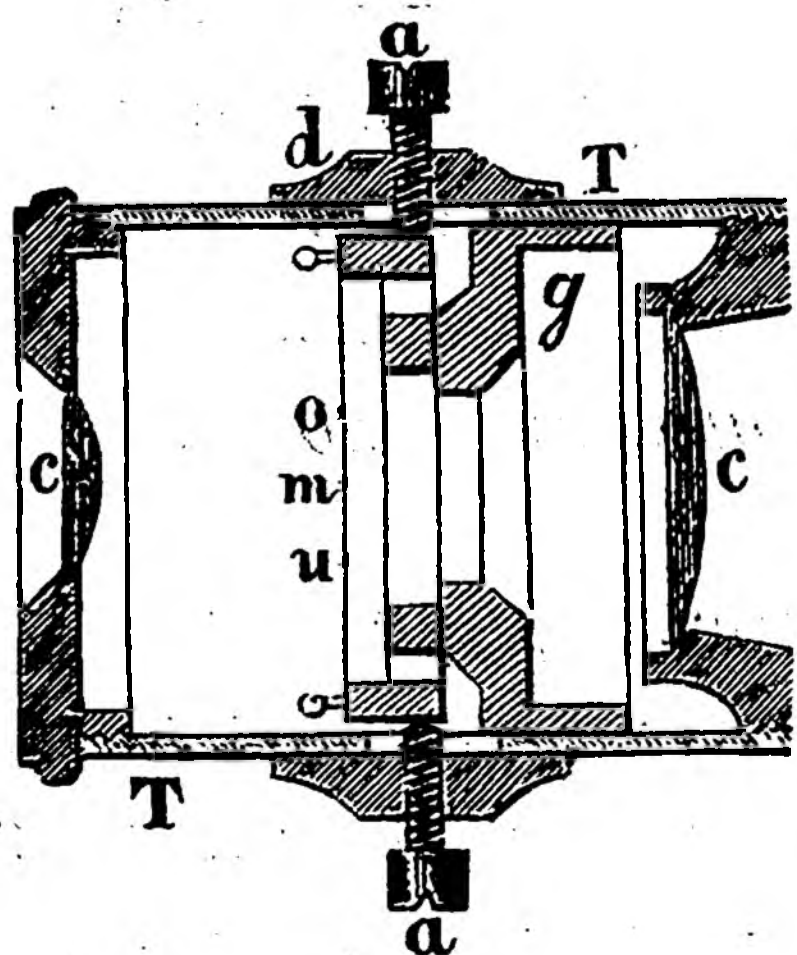
Но  $cb = 10$  саж., а  $bn$  измѣрено по линейкѣ, поэтому искомое разстояніе  $ab$  вычислится по предыдущему равенству; при чемъ точность его опредѣленія зависитъ отъ точности измѣренія длины  $bn$ .



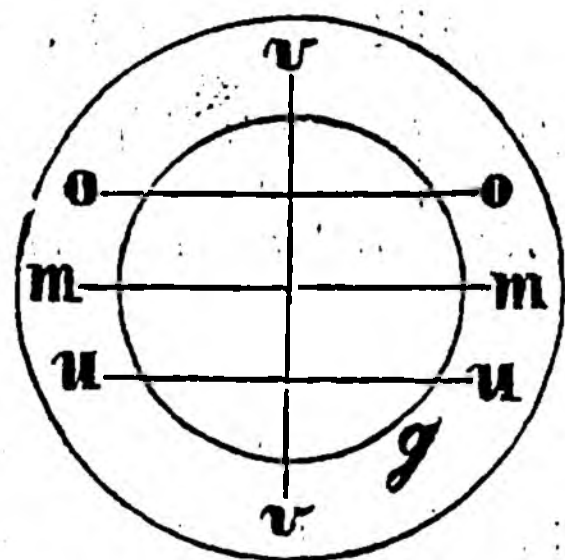
§ 113. Переходя къ описанію устройства дальномѣровъ съ рейками, рассмотримъ сначала дальномѣры съ постоянными углами, а именно *Эртеля* и *Порро*. Каждый изъ нихъ устраивается въ зрительной трубѣ, которая не представляетъ отдѣльный, самостоятельный снарядъ, а служитъ визирнымъ аппаратомъ въ различныхъ геодезическихъ инструментахъ.

Дальномѣръ мюнхенскаго механика *Эртеля* отличается особенностью устройства сѣтки астрономической трубы Гюйгенса. Черт. 189 представляетъ вертикальный разрѣзъ части окулярнаго колѣна этой трубы.

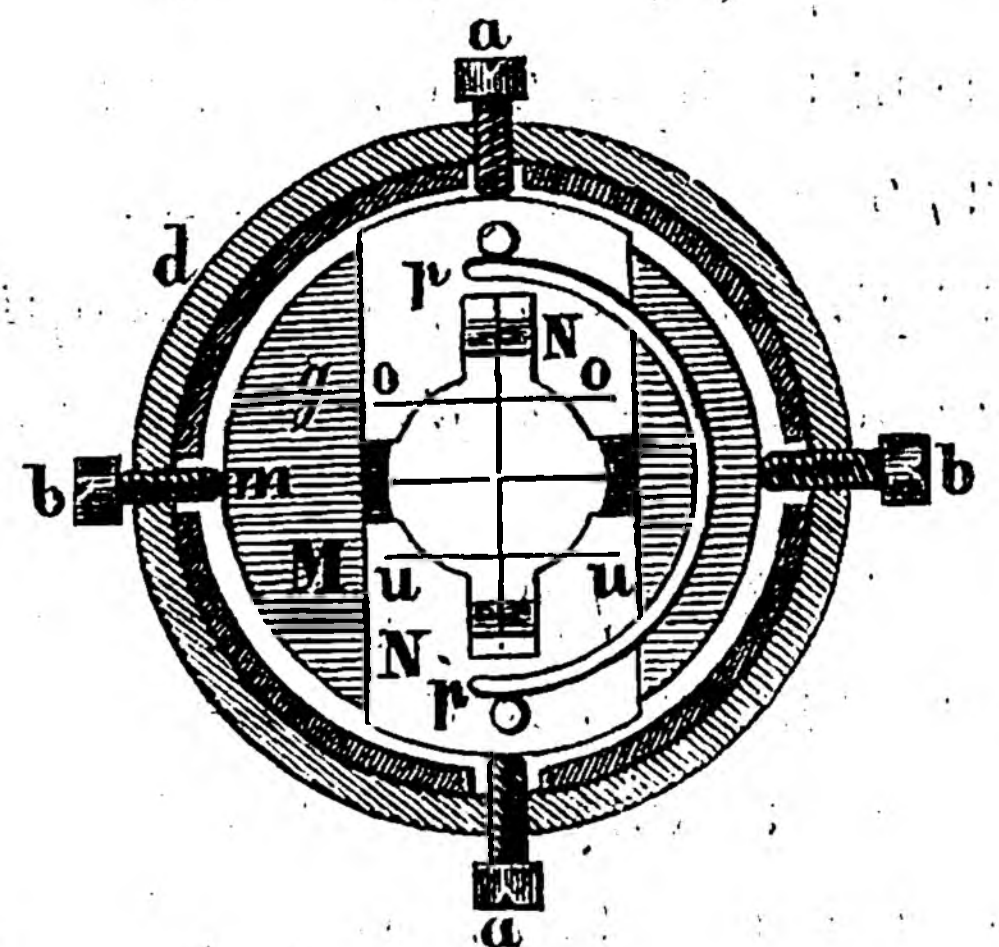
Черт. 189.



Черт. 190.



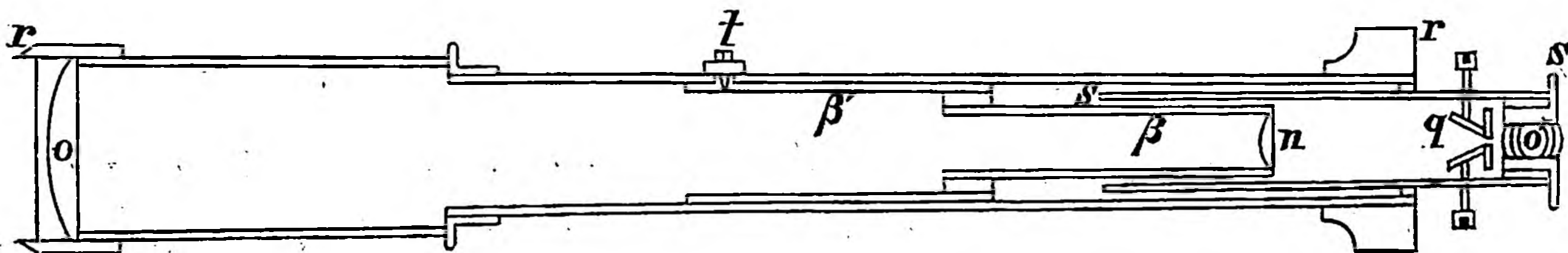
Черт. 191.



Между окуляромъ  $a$  и собирательнымъ стекломъ  $c$  помѣщается диафрагма  $g$ , на которой натянуты одна вертикальная и три горизонтальныя нити:  $o$ ,  $m$  и  $u$ . Изъ нихъ нити  $o$  и  $u$ , служащія собственно

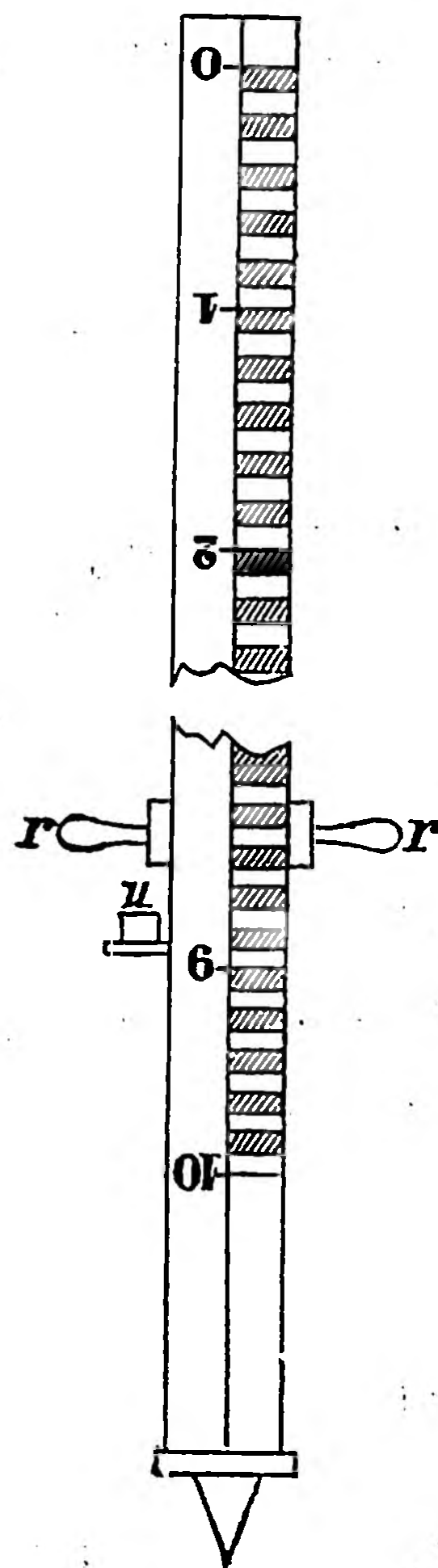
для опредѣленія разстояній, называются *дальномерными*. Если эти нити *прикрѣплены* къ діафрагмѣ *g* (черт. 190), то онѣ называются *неподвижными* въ отличіе отъ *подвижныхъ* дальномерныхъ нитей чертежа 191, на которомъ вертикальная и средняя горизонтальная нить прикрѣплены къ діафрагмѣ *g*, а дальномерныя нити *oo* и *ии* прикрѣплены къ пластинкамъ *N*, *N*, которыя могутъ быть передвигаемы въ пазахъ діафрагмы посредствомъ винтовъ *a* и *a*; при чемъ, вывертывая ихъ, подковообразная пружина *pp* раздвигаетъ пластинки *N* и *N*, а при ввертываніи винтовъ пластинки сближаются. Такъ какъ съ передвиженіемъ пластинокъ передвигаются и дальномерныя нити *oo* и *ии*, то слѣд. вращеніемъ винтовъ *a* и *a* можно регулировать разстояніе между дальномерными нитями, и сдѣлать одинаковыми разстоянія каждой изъ нихъ отъ средней нити. Хотя дальномеръ Эртеля устраивается всегда при окулярѣ Гюйгенса, но было бы лучше устраивать его при окулярѣ Рамсдена, который, какъ видно изъ § 40, обладаетъ большимъ увеличеніемъ и большею правильностью изображенія сѣтки. Дальномеръ Эртеля есть усовершенствованный дальномеръ *Рейхенбаха*, а потому за границей онъ извѣстенъ иногда подъ именемъ этого послѣдняго.

Черт. 192.



Профессоръ *Порро* въ Миланѣ предложилъ дальномеръ, устройство котораго, представленное на черт. 192, принадлежитъ вѣнскому механику Штарке. Труба этого дальномера состоитъ: изъ объективнаго колѣна *rr* и окулярнаго колѣна *ss*. Въ объективномъ колѣнѣ помѣщаются: ахроматическій объективъ *o* и собирательное стекло *n*, ввинченное въ цилиндръ *β*, соединенный съ цилиндромъ *β'*, который можетъ быть передвигаемъ вдоль оси трубы. Для этого передвиженія нужно предварительно ослабить винтъ *t* сверху объективнаго колѣна. Въ окулярномъ колѣнѣ *ss* помѣщаются: окуляръ *o'*, состоящій изъ двухъ двойныхъ стеколъ, и діафрагма *g*; сѣтка, натянутая на діафрагмѣ, состоитъ также изъ трехъ горизонтальныхъ и одной вертикальной нити. Дальномерныя нити сѣтки неподвижны, и потому она имѣетъ видъ, изображенный на черт. 190.

Черт. 193.

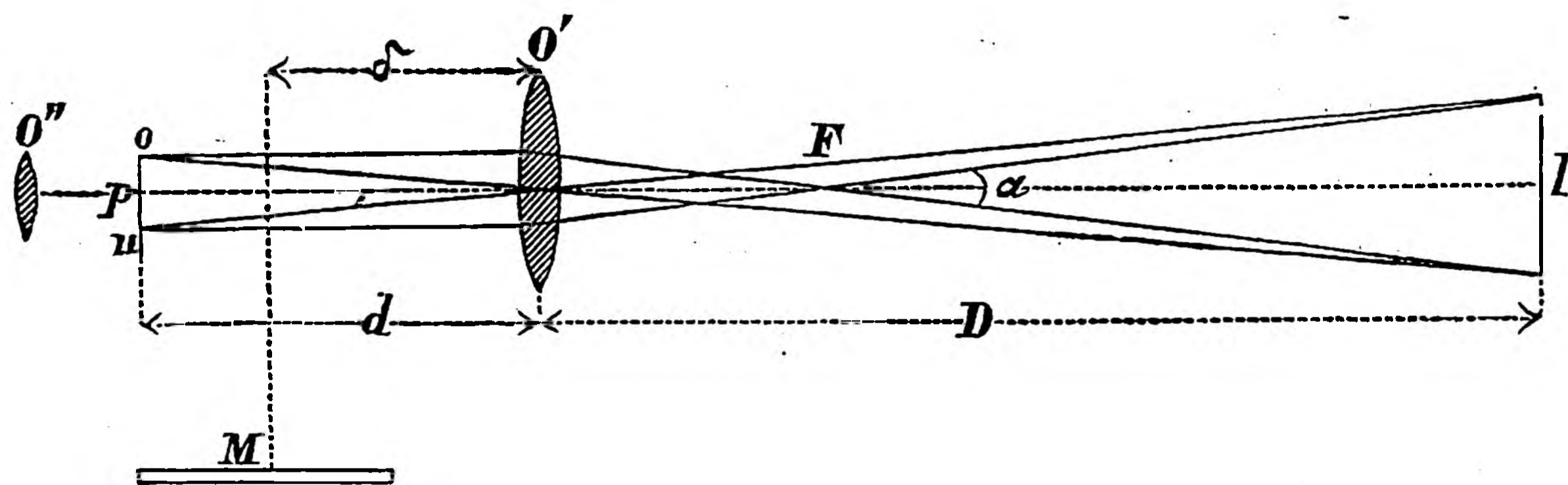


§ 114. Рейка, употребляющаяся при дальномерѣ Эртеля (и Порро), представляетъ деревянный брусъ, длиною около 1,5 сажени и шириною въ 3—4 дюйма (черт. 193). Нижний конецъ бруса снабженъ желѣзнымъ наконечникомъ съ остриемъ для втыканія его въ землю. На высотѣ нѣсколько менѣе двухъ аршинъ отъ низу прикрѣплены двѣ ручки *r*, *r*, за которыя рабочий держитъ брусъ. Чтобы брусъ стоялъ вертикально, подъ одною изъ ручекъ прикрѣпляется круглый

уровень  $u$ . На лицевой сторонѣ бруса нанесены равныя дѣленія, счетъ которыхъ идетъ сверху внизъ. Нуль дѣлений рейки ставится всегда наверху, а не внизу, потому что при опредѣленіи разстояній нижняя дальномѣрная нить должна быть направлена на нуль отвѣсно стоящей рейки, который если будетъ помѣщенъ внизу рейки можетъ быть иногда не виденъ за мѣстными препятствіями, напр. высокая трава, кустарникъ и т. п.

§ 115. Обратимся къ теоріи дальномѣровъ Эртеля (и Порро). Если  $O'$  (черт. 194) есть объективъ трубы,  $F$  — одинъ изъ его главныхъ фокусовъ, а  $o$  и  $u$  — двѣ дальномѣрныя нити, перпендикулярныя къ плоскости чертежа, то при смотрѣніи въ окуляръ  $O''$  будемъ видѣть между нитями  $o$  и  $u$  часть  $l$  рейки, стоящей на разстояніи  $D$  отъ оптическаго

Черт. 194.



центра объектива  $O'$  и перпендикулярной къ оптической оси трубы. Если разстояніе сѣтки нитей отъ центра объектива  $O'$  при направленіи трубы на рейку или, все равно, разстояніе изображенія рейки въ трубѣ отъ центра объектива обозначимъ чрезъ  $d$ , а разстояніе между нитями  $o$  и  $u$  — чрезъ  $p$ , то имѣемъ

$$\frac{1}{D} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

$$\frac{p}{d} = \frac{l}{D}, \quad (2)$$

гдѣ  $f$  есть фокусное разстояніе объектива. Для исключенія изъ обоихъ этихъ равенствъ величины  $d$ , приведемъ (1) къ одному знаменателю и освободившись отъ него получимъ

$$df + Df = Dd;$$

откуда

$$(D - f) d = Df.$$

Подставивъ сюда вмѣсто  $d$  его выраженіе, выведенное изъ (2), будемъ имѣть:

$$D - f = \frac{f}{p} l$$

или

$$D = kl + f, \quad (3)$$

гдѣ  $k = \frac{f}{p}$  есть величина постоянная для одного и того же объектива и одной и той же сѣтки. Изъ этой формулы видно: во 1) что зная длину

части  $l$  рейки и постоянныя величины  $k$  и  $f$  можно опредѣлить  $D$ , т. е. разстояніе рейки отъ оптическаго центра объектива, и во 2) что часть  $l$  рейки пропорціональна не разстоянію ея отъ объектива, а разстоянію рейки отъ передняго фокуса  $F$  объектива. Уголъ  $\alpha$  съ вершиною  $F$ , образованный лучами идущими отъ нитей  $o$  и  $u$  сначала параллельно оптической оси объектива, а затѣмъ пересѣкающіеся въ  $F$ , есть *постоянный* уголъ дальномѣра, называющійся иногда *діастимометрическимъ* \*), т. е. угломъ измѣряющимъ разстоянія, потому что съ уменьшеніемъ разстоянія рейки отъ  $F$  часть ея  $l$ , заключающаяся между дальномѣрными нитями, уменьшается, а съ увеличеніемъ того же разстоянія — увеличивается. Хотя по послѣдней формулѣ можно опредѣлить разстояніе  $D$  рейки отъ объектива, тѣмъ не менѣе на практикѣ надо знать не его, а разстояніе рейки отъ середины того инструмента, къ которому придрѣланъ дальномѣръ. Если это послѣднее разстояніе обозначимъ чрезъ  $E$ , а разстояніе объектива отъ середины  $M$  инструмента — чрезъ  $\delta$ , то

$$E = D + \delta = kl + f + \delta$$

или, обозначивъ  $f + \delta$  чрезъ  $c$  — величину постоянную для одного и того же объектива и одного и того же инструмента, имѣемъ окончательную формулу

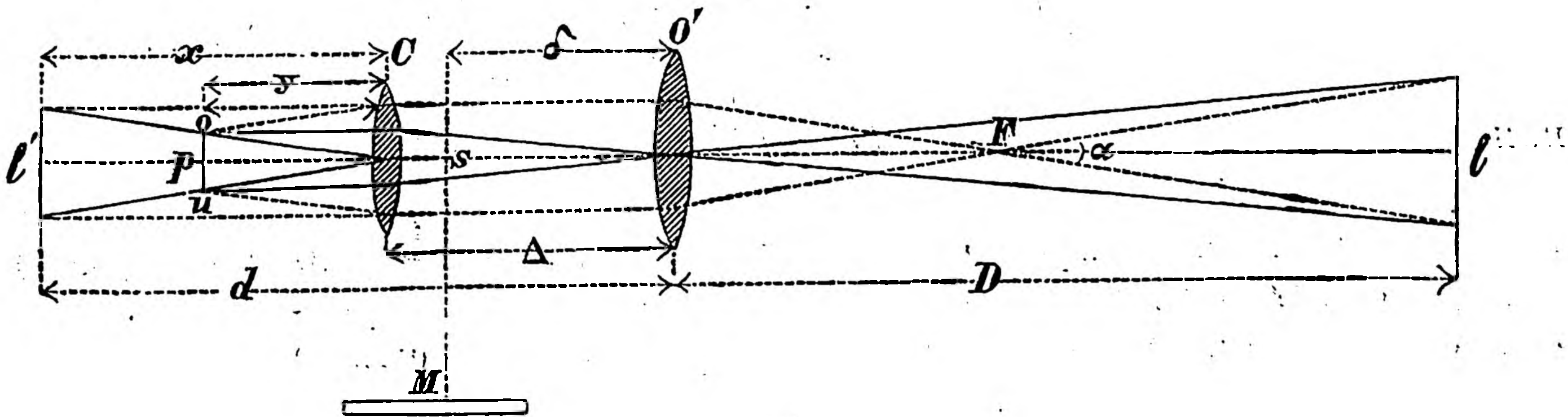
$$E = kl + c, \quad (I)$$

гдѣ  $k = \frac{f}{p}$ , а  $c = f + \delta$ .

Формула (I), выведенная для астрономической трубы Кеплера, применима и къ трубѣ съ окуляромъ Рамсдена. Если же сѣтка нитей помѣщена въ окулярѣ Гюйгенса, какъ напр. въ дальномѣрѣ Эртеля, въ которомъ между сѣткою и объективомъ помѣщается еще собирательное стекло, то хотя формула (I) применима и къ окуляру Гюйгенса, тѣмъ не менѣе выводъ ея будетъ нѣсколько иной и постоянное  $k$  будетъ имѣть другое значеніе.

Дѣйствительно если  $O'$  (черт. 195) есть опять объективъ, то лучи, идущіе отъ двухъ штриховъ рейки, отстоящихъ другъ отъ друга на разстояніи  $l$ , дали бы въ трубѣ изображенія, отстоящія другъ отъ друга

Черт. 195.



на разстояніе  $l'$ ; но такъ какъ на пути слѣдованія этихъ лучей внутри трубы встрѣчается собирательное стекло  $C$ , то они отклоняются отъ своего

\*) Отъ 2 греч. словъ: *diastema* — разстояніе и *metrein* — измѣрять.

направленія и дадутъ изображенія тѣхъ же точекъ рейки ближе, а именно въ томъ мѣстѣ трубы, гдѣ натянута сѣтка съ дальномѣрными нитями  $o$  и  $u$ , находящимися на разстояніи  $p$  другъ отъ друга. Если  $l'$  разсматривать какъ изображеніе предмета  $p$  и если обозначить разстояніе рейки отъ центра объектива чрезъ  $D$ , разстояніе изображенія  $l'$  отъ центра объектива — чрезъ  $d$ , разстояніе предмета  $p$  отъ центра собирательнаго стекла — чрезъ  $y$  и наконецъ разстояніе изображенія  $l'$  отъ центра собирательнаго стекла — чрезъ  $x$ , то можемъ написать 4 уравненія:

$$(4) \quad \frac{1}{D} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f} \quad -\frac{1}{x} + \frac{1}{y} = \frac{1}{f'} \quad (6)$$

$$(5) \quad \frac{l}{D} = \frac{l'}{d} \quad \frac{l'}{x} = \frac{p}{y} \quad (7)$$

Здѣсь  $f$  есть фокусное разстояніе объектива, а  $f'$  — фокусное разстояніе собирательнаго стекла. Изъ предыдущихъ 4 равенствъ можно исключить величины:  $d$ ,  $x$  и  $l'$ . Въ самомъ дѣлѣ, приведя сначала (4) къ одному знаменателю и освободившись отъ него, получаемъ

$$(D - f) d = Df.$$

Подставляя затѣмъ сюда  $d$ , выведенное изъ (5), имѣемъ

$$D - f = \frac{f}{l'} l. \quad (8)$$

Приведемъ теперь къ одному знаменателю дроби равенства (6) и освободившись отъ него получимъ:

$$(f' - y) x = yf'.$$

Наконецъ подставляя сюда  $x$ , выведенное изъ (7), получимъ:

$$f' - y = \frac{f' p}{l'}.$$

Откуда 
$$\frac{1}{l'} = \frac{f' - y}{f' p} = \left(1 - \frac{y}{f'}\right) \frac{1}{p}.$$

Подставляя это въ (8) и обозначая  $\left(1 - \frac{y}{f'}\right) \frac{f}{p}$  чрезъ  $k'$ , имѣемъ

$$D - f = \frac{f}{p} \left(1 - \frac{y}{f'}\right) l = k' l$$

или

$$D = k' l + f.$$

Обозначая, какъ и прежде, разстояніе отъ середины  $M$  инструмента до центра объектива, измѣряемое по оси объектива, чрезъ  $\delta$ , а разстояніе отъ середины инструмента до рейки чрезъ  $E$ , имѣемъ

$$E = D + \delta = k' l + f + \delta$$

или

$$E = k' l + c, \quad (II)$$

гдѣ  $k' = \left(1 - \frac{y}{f'}\right) \frac{f}{p}$ , а  $c = f + \delta$ . При употребленіи формулы (II) необ-

ходимо чтобы  $k'$  и  $s$  были постоянны. Такъ какъ  $s$  зависитъ отъ  $f$  и  $\delta$ , то оно постоянно для одного и того же объектива и одного и того же инструмента; что же касается  $k'$ , зависящаго отъ  $f$ ,  $f'$ ,  $p$  и  $y$ , то оно будетъ постояннымъ для одной и той же трубы только тогда, когда будетъ постоянно  $y$ , т. е. разстояніе отъ сѣтки до собирательнаго стекла. На этомъ основаніи сѣтка нитей въ дальномѣрѣ Эртеля не должна измѣнять своего разстоянія отъ собирательнаго стекла.

Теорія дальномѣра Порро состоитъ въ слѣдующемъ: изъ того же чертежа 195, принимая во вниманіе, что  $x = d - \Delta$ , гдѣ  $\Delta$  есть разстояніе собирательнаго стекла отъ объектива, имѣемъ тѣ же 4 равенства:

$$(9) \quad \frac{1}{D} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f} \quad - \frac{1}{d - \Delta} + \frac{1}{y} = \frac{1}{f'} \quad (11)$$

$$(10) \quad \frac{l}{D} = \frac{l'}{d} \quad \frac{l'}{d - \Delta} = \frac{p}{y} \quad (12)$$

Исключимъ изъ этихъ равенствъ величины:  $d$ ,  $l'$  и  $y$ . При исключеніи  $d$  изъ (9) и (10) получимъ, какъ и прежде,

$$D - f = \frac{f}{l'} l. \quad (13)$$

Исключеніе же  $y$  изъ (11) и (12) дастъ

$$\frac{(d - \Delta + f') p}{l'} = f',$$

ибо сначала имѣемъ

$$(d - \Delta + f') y = (d - \Delta) f';$$

подставляя же сюда  $y = \frac{(d - \Delta) p}{l'}$ , получимъ требуемое равенство. Изъ

него выводимъ

$$\frac{1}{l'} = \frac{f'}{(d - \Delta + f') p}$$

или, подставивъ въ (13), имѣемъ

$$D - f = \frac{ff'}{(d - \Delta + f') p} l. \quad (14)$$

Такъ какъ сюда опять вошло  $d$ , то исключимъ его посредствомъ равенства

$$d = \frac{Df}{D - f},$$

полученнаго изъ (9); тогда

$$d - \Delta + f' = \frac{Df}{D - f} - \Delta + f' = \frac{D(f - \Delta + f') + f(\Delta - f')}{D - f}.$$

Вслѣдствіе этого

$$D - f = \frac{D(f - \Delta + f') + f(\Delta - f')}{d - \Delta + f'}. \quad (15)$$

Изъ (14) и (15) имѣемъ

$$\frac{ff'}{p} l = D (f - \Delta + f') + f (\Delta - f');$$

откуда

$$D = -\frac{f(\Delta - f')}{f - \Delta + f'} + \frac{ff'}{(f - \Delta + f') p} l.$$

Эта формула опредѣляетъ разстояніе рейки отъ центра объектива, а потому разстояніе  $E$  отъ рейки до середины инструмента, употребляя тѣ же обозначенія что и прежде, будетъ

$$E = \frac{ff'}{(f - \Delta + f') p} l - \frac{f(\Delta - f')}{f - \Delta + f'} + \delta. \quad (16)$$

Порро предложилъ брать  $\delta$ ,  $f$ ,  $f'$  и  $\Delta$  такой длины, чтобы они удовлетворяли равенству

$$-\frac{f(\Delta - f')}{f - \Delta + f'} + \delta = 0,$$

иначе чтобы

$$\delta = \frac{f(\Delta - f')}{f - \Delta + f'}.$$

Тогда

$$E = \frac{ff'}{(f - \Delta + f') p} l. \quad (17)$$

Обозначивъ выраженіе  $\frac{ff'}{(f - \Delta + f') p}$ , постоянное для одной и той же трубы, чрезъ  $k''$ , получимъ формулу дальномѣра Порро

$$E = k'' l. \quad (III)$$

Такъ какъ по § 40 эквивалентное фокусное разстояніе объектива и собирательнаго стекла, т. е.  $f''$ , есть

$$f'' = \frac{ff'}{f - \Delta + f'}$$

то

$$k'' = \frac{f''}{p}.$$

Изъ предыдущаго видно, что разстояніе  $\Delta$  собирательнаго стекла отъ объектива, будучи однажды выбрано, не должно измѣняться съ измѣненіемъ разстоянія рейки отъ инструмента, между тѣмъ какъ въ дальномѣрѣ Эртеля эта длина измѣняется. Въ этомъ и состоитъ существенное отличіе дальномѣра Порро отъ дальномѣра Эртеля.

Такъ какъ въ дальномѣрѣ Порро часть  $l$  рейки пропорціональна разстоянію ея отъ середины инструмента, то уголъ зрѣнія при точкѣ  $s$  постояненъ; а потому Порро назвалъ эту точку *аналлатической*\*), а самый дальномѣръ *аналлатическимъ*. Въ этомъ смыслѣ передній фокусъ  $F'$  объектива дальномѣра Эртеля есть также точка *аналлатическая*.

И такъ формулы для дальномѣровъ Эртеля и Порро суть:

1) для дальномѣра Эртеля по (II) имѣемъ

$$E = k'l + c, \quad \text{гдѣ } k' = \frac{f}{p} \left(1 - \frac{y}{f'}\right) \text{ и } c = f + \delta;$$

\*) Отъ греч. слова *állatto* — я измѣняю, *ánallatto* — я не измѣняю.

2) для *дальномера Порро* по (III) имѣемъ

$$E = k''l, \text{ гдѣ } k'' = \frac{f''}{p} = \frac{ff'}{(f - \Delta + f')p}$$

Вообще же

$$E = kl + c,$$

гдѣ  $E$  есть разстояніе отъ середины инструмента до рейки,  $l$  — часть рейки, заключающаяся между дальномерными нитями сѣтки,  $k$  и  $c$  — постоянныя величины для одной и той же трубы и одного и того же инструмента, при чемъ для *дальномера Порро*  $c = 0$ .

### § 116. Формула

$$E = kl + c,$$

соотвѣтствующая *дальномерамъ* съ постояннымъ угломъ, содержитъ двѣ постоянныя величины  $k$  и  $c$ , которыя разумѣется должны быть опредѣлены передъ употребленіемъ даннаго *дальномера*. Покажемъ это опредѣленіе.

Лучшій и простѣйшій способъ опредѣленія  $c$  есть непосредственное его измѣреніе; для чего трубу съ окуляромъ Рамсдена направляютъ на возможно отдаленный предметъ. Такъ какъ сѣтка нитей помѣстится при этомъ въ фокусѣ объектива, то измѣривъ по верху трубы разстояніе отъ объектива до сѣтки и разстояніе отъ объектива до точки трубы, лежащей отвѣсно надъ серединою инструмента, получимъ въ суммѣ этихъ разстояній величину  $c$ , ибо  $c = f + \delta$ . Если же имѣемъ трубу съ окуляромъ Гюйгенса, то фокусное разстояніе  $f$  объектива опредѣлится достаточно точно, если вывернувъ его изъ трубы получимъ позади объектива яркое изображеніе солнца; разстояніе этого изображенія отъ объектива выразитъ  $f$ .

Допустивъ, что  $c$  извѣстно, опредѣляютъ  $k$  слѣдующимъ образомъ: на мѣстности возможно горизонтальной и ровной измѣряютъ линію длиною во 100 сажень и на одномъ концѣ ея ставятъ *дальномеръ*, а на другомъ — рейку, раздѣленную на доли сажени. Затѣмъ смотря въ трубу направляютъ нижнюю *дальномерную* нить сѣтки на нуль рейки, стоящій, какъ сказано уже, на верху ея, а по верхней *дальномерной* нити дѣлаютъ на рейкѣ отсчетъ; этотъ отсчетъ и выразитъ величину  $l$ . Послѣ этого въ уравненіи

$$E = kl + c$$

неизвѣстнымъ будетъ только одно  $k$ , которое и опредѣлится по формулѣ

$$k = \frac{E - c}{l}.$$

Понятно, что вслѣдствіе вліянія неизбѣжныхъ погрѣшностей, вкравшихся въ произведенныя измѣренія, не слѣдуетъ довольствоваться *однимъ* опредѣленіемъ величины  $k$ , а нужно сдѣлать ихъ нѣсколько; при чемъ на мѣстности лучше брать различныя разстоянія.



*Примѣръ.* Непосредственное измѣреніе постояннаго  $c$  дальномѣра Эртеля съ неподвижными нитями дало

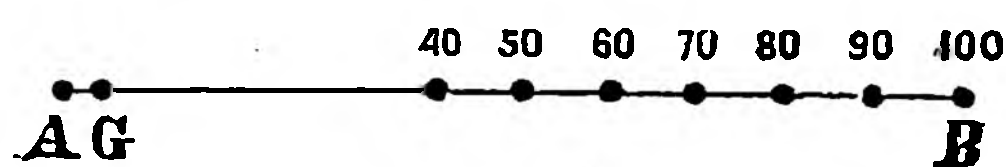
$$f = 0,238 \text{ саж. и } \delta = 0,130 \text{ саж.},$$

а потому

$$c = 0,368 \text{ саж.}$$

Послѣ этого по линіи  $AB$  (черт. 196) на мѣстности ровной и горизонтальной отмѣрено  $AG = c = 0,368^c$  и затѣмъ отъ  $G$  отложены разстоянія въ 40, 50, 60, 70, 80, 90 и 100 саж., на концахъ которыхъ забиты колышки. Дальномѣръ поставленъ въ  $A$ , а рейка ставилась на каждый

Черт. 196.



колышекъ два раза и послѣ каждой постановки отсчитывалась на ней величина  $l$ . Результаты наблюдений и вычислений расположены въ слѣдующей таблицѣ:

№№ пунктовъ.	$E - c$ .	Величины $l$			$k = \frac{E - c}{l}$ .
		набл. 1.	набл. 2.	Среднее.	
1	40 <sup>c</sup>	0,435 <sup>c</sup>	0,434 <sup>c</sup>	0,4345 <sup>c</sup>	92,060
2	50	0,542	0,543	0,5425	92,166
3	60	0,650	0,650	0,6500	92,308
4	70	0,760	0,763	0,7615	91,924
5	80	0,870	0,871	0,8705	91,901
6	90	0,980	0,973	0,9765	92,166
7	100	1,085	1,083	1,0840	92,259
Среднее ...					92,114

Каждое отдѣльное опредѣленіе  $k$  дѣлалось по среднему изъ обоихъ наблюдений одной и той же строки; такъ напр. для третьяго  $k$  имѣемъ

$$k = \frac{60}{0,6500} = 92,308.$$

При опредѣленіи средняго ариѣметическаго изъ всѣхъ  $k$  вычислена средняя ошибка по формулѣ

$$M = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n(n-1)}},$$

гдѣ  $\delta$  есть разность между 92,114 и отдѣльнымъ опредѣленіемъ  $k$ , а  $n$  — число опредѣленій, равное 7. При этомъ получено

$$M = \pm 0,059.$$

Слѣд. окончательный результатъ для  $k$  есть

$$k = 92,114 \pm 0,059.$$

А потому полная формула для нашего дальномѣра, ограничиваясь для  $k$  десятиными долями, будетъ

$$E = 92,1 l + 0,368.$$

§ 117. Вычисленіе на мѣстности формулы

$$E = kl + c$$

неудобно, потому что для полученія произведенія  $kl$  нужно сдѣлать умноженіе двухъ чиселъ, изъ которыхъ каждое состоитъ въ большинствѣ случаевъ изъ трехъ цифръ. Во избѣжаніе этого или изготовляютъ для даннаго дальномѣра особую рейку, или дѣлаютъ установку дальномѣрныхъ нитей такъ, чтобы  $k$  сдѣлалось равнымъ 100. Первый приѣмъ употребляется въ случаѣ неподвижныхъ нитей, а второй — въ случаѣ подвижныхъ.

При изготовленіи рейки въ случаѣ неподвижныхъ нитей дѣйствія начинаютъ съ того, что опредѣляютъ величину  $c$  способомъ, указаннымъ въ предыдущемъ параграфѣ; затѣмъ промѣряютъ на мѣстности возможно ровной и горизонтальной линію длиною въ  $100 + c$  сажень. На одномъ концѣ линіи ставятъ дальномѣръ, а на другомъ — отвѣсно рейку, на которой еще нѣтъ никакихъ дѣленій. Смотри въ трубу дальномѣра, замѣчаютъ на рейкѣ точки, покрываемыя дальномѣрными нитями сѣтки, и этотъ промежутокъ на рейкѣ дѣлятъ на 100 равныхъ частей. Послѣ этого для изготовленія рейки нужно только подписать, начиная сверху, каждый пятокъ или десятокъ дѣленій. Чтобы оправдать такой приѣмъ изготовленія рейки рассмотримъ слѣдующее: если разстояніе рейки отъ передняго фокуса объектива, т. е.  $E - c = kl$ , равно 100 саженьямъ, то часть рейки, заключающаяся между дальномѣрными нитями, будетъ при этомъ  $l = \frac{100}{k}$  саж.; вслѣдствіе чего, если при какомъ нибудь другомъ разстоя-

ніи рейки отъ передняго фокуса объектива между дальномѣрными нитями помѣщается напр. 0,437 отъ всей длины рейки, принятой за единицу, то разстояніе это, выраженное въ саженьяхъ, будетъ  $= k (0,437 \times \frac{100}{k}) = 43,7$  саж. Слѣдов., чтобы получить въ саженьяхъ разстояніе рейки отъ передняго фокуса объектива, надо часть рейки между дальномѣрными нитями увеличить во 100 разъ; другими словами, число частей (43,7) рейки между дальномѣрными нитями выражаетъ число сажень въ этомъ разстояніи.

Если дальномѣрные нити могутъ быть передвигаемы, т. е. если имѣемъ сѣтку, изображенную на черт. 191, то дѣлаютъ установку ихъ такъ, чтобы  $k$  обратилось во 100. Для чего такъ же какъ и прежде, предполагая что  $c$  уже опредѣлено, отмѣриваютъ на мѣстности  $100 + c$  сажень. На одномъ концѣ этой линіи ставятъ дальномѣръ, на другомъ

концѣ — рейку, на которой произвольная длина (примѣрно 1 сажень) раздѣлена на 100 равныхъ частей. Наклоняютъ трубу дальномѣра настолько, чтобы средняя нить сѣтки покрывала среднюю черту рейки, иначе 0,5 того протяженія ея, которое покрыто дѣленіями; послѣ чего не измѣняя положенія трубы, наводятъ винтиками  $a$ ,  $a$  нижнюю нить сѣтки на нуль рейки, а верхнюю нить на нижнюю черту рейки. Совершивъ это, установка кончена. Ясно, что если послѣ этого при другомъ какомъ нибудь разстояніи рейки отъ инструмента между дальномѣрными нитями сѣтки будетъ заключаться напр. 0,243 всей части рейки, покрытой дѣленіями, или 24,3 ея дѣленія, то  $24,3 \div c$  выразитъ число сажень въ разстояніи рейки отъ середины инструмента.

Изъ этого видно, что подвижныя нити сѣтки дальномѣра Эртеля имѣютъ то преимущество передъ нитями неподвижными, что даютъ возможность употреблять при данномъ дальномѣрѣ всякую произвольную рейку съ равными между собою дѣленіями, чѣмъ и избѣгается изготовленіе особой рейки для каждаго дальномѣра. Это преимущество имѣетъ и свой недостатокъ, состоящій въ томъ, что отъ случайнаго прикосновенія съемщика къ винтикамъ  $a$ ,  $a$  во время употребленія инструмента, они могутъ немного подвинуться или повернуться, чѣмъ и нарушится предварительная ихъ установка. Если принять во вниманіе еще и то, что разстояніе между дальномѣрными нитями можетъ измѣниться также отъ присутствія въ воздухѣ большаго или меньшаго количества влаги, то сдѣлается понятнымъ, почему установку подвижныхъ нитей нужно повѣрять и исправлять ежедневно передъ началомъ работы.

Дальномѣру Порро соотвѣтствуетъ формула

$$E = kl; \text{ гдѣ } k = \frac{ff'}{(f + f' - \Delta) p}$$

Различныя механики даютъ постоянному  $k$  различное значеніе; нѣкоторые изъ нихъ дѣлаютъ  $k = 100$ , а другіе — равнымъ 50 или 200; чаще встрѣчаются инструменты, въ которыхъ  $k = 100$ . Покажемъ установку дальномѣровъ Порро. На мѣстности возможно горизонтальной и ровной отмѣриваютъ линію во 100 сажень; на одномъ концѣ ея ставятъ дальномѣръ Порро, а на другомъ — рейку, на которой длина около одной сажени раздѣлена на десятыя и сотыя доли. Вращеніемъ трубы въ вертикальной плоскости направляютъ нижнюю дальномѣрную нить сѣтки на нуль рейки и смотрятъ — покрываетъ ли верхняя дальномѣрная нить сотый штрихъ рейки: если не покрываетъ и при томъ не доходитъ до указаннаго штриха, то  $k$  нужно увеличить. А такъ какъ оно зависитъ отъ  $\Delta$ , представляющаго разстояніе отъ объектива до стекла  $n$  (черт. 192), то для увеличенія  $k$  нужно уменьшить знаменатель  $(f + f' - \Delta) p$ ; что достигается увеличеніемъ  $\Delta$  или, все равно, отдаленіемъ объектива отъ стекла  $n$ , ослабивъ предварительно винтикъ  $t$ . Для уменьшенія  $k$  нужно наоборотъ приблизить объективъ къ стеклу  $n$ .

§ 118. Произведя указанную въ предыдущемъ установку дальномѣра, можно будетъ имъ пользоваться для опредѣленія разстоянія рейки отъ середины инструмента. Это дѣлается такъ: на одномъ концѣ опредѣляе-

мага разстоянія ставится дальномѣръ, а на другомъ ставится отвѣсно рейка; направляютъ на нее трубу и вращая эту послѣднюю въ отвѣсной плоскости приводятъ нижнюю дальномѣрную нить въ совмѣщеніе съ верхнею чертою рейки, подписанною нулемъ; наконецъ дѣлаютъ на рейкѣ отсчетъ по верхней дальномѣрной нити. Если дальномѣръ имѣетъ свою рейку или постоянное  $k$  равно 100, то число частей рейки между дальномѣрными нитями, увеличенное если надо на постоянное  $c$ , выразитъ искомое разстояніе въ саженьяхъ; такъ напр., если отсчетъ былъ 43,7, а  $c = 0,372$ , то искомое разстояніе

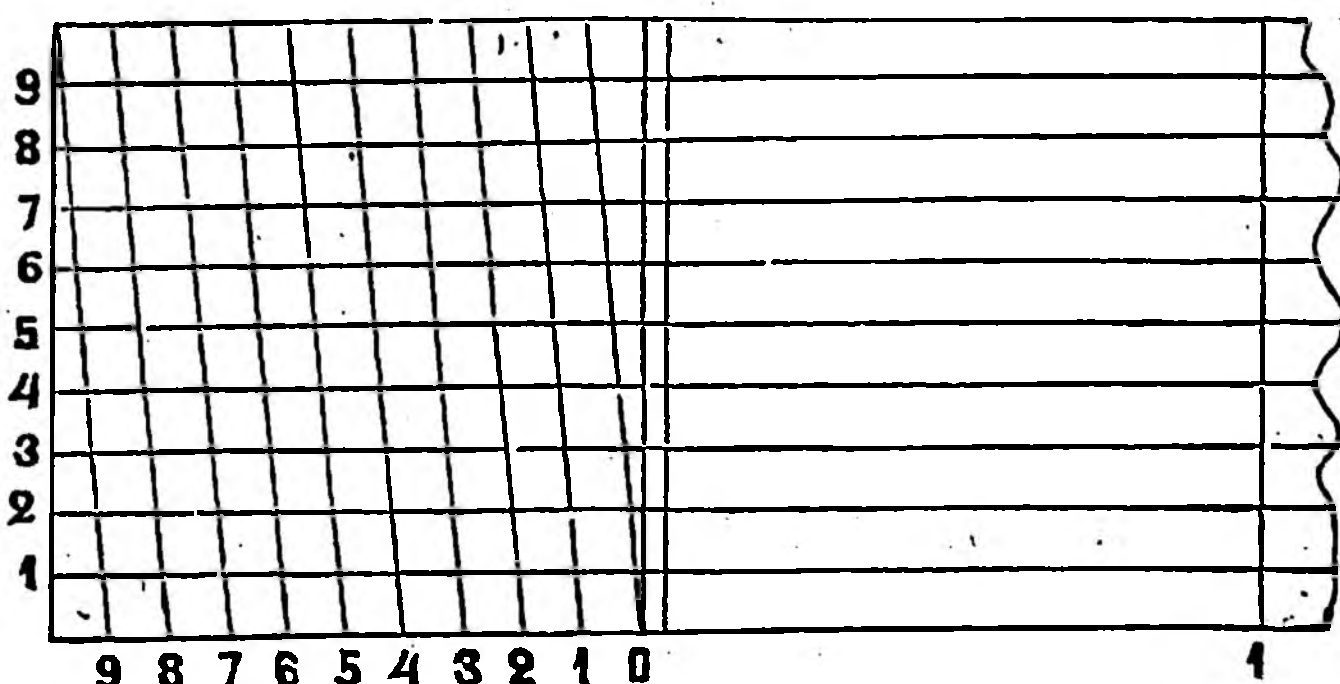
$$E = 43,7 + 0,372 = 44,07 \text{ саж.}$$

Здѣсь 0,002 въ окончательномъ результатѣ отброшены, какъ не имѣющія значенія, потому что точность дальномѣровъ не даетъ возможности ручаться въ вѣрности сотыхъ, а тѣмъ болѣе тысячныхъ долей сажени.

Къ этому слѣдуетъ еще добавить: а) имѣя рейку, на которой назначено 100 дѣленій, можно опредѣлять разстоянія и большія 100 саж. Для этого, если средняя нить помѣщена точно по серединѣ между дальномѣрными нитями, направляютъ нижнюю дальномѣрную нить на нуль рейки и дѣлаютъ отсчетъ по средней нити; затѣмъ удвоивъ этотъ отсчетъ и придавъ къ нему постоянное  $c$ , получимъ разстояніе рейки отъ середины инструмента. Въ томъ же случаѣ, когда средняя нить помѣщается не на равныхъ разстояніяхъ отъ крайнихъ, нужно поступать такъ: наведя нижнюю нить на нуль рейки, дѣлаютъ отсчетъ по средней нити; затѣмъ наводятъ среднюю нить на нуль и дѣлаютъ отсчетъ по верхней нити. Сумма этихъ отсчетовъ  $+ c$  дастъ искомое разстояніе. Этотъ послѣдній приѣмъ хотя и продолжительнѣе перваго, но не трудно видѣть, что онъ точнѣе, а въ томъ случаѣ, когда не увѣрены въ равенствѣ разстояній средней нити отъ крайнихъ, онъ есть единственный, который должно употреблять. Подобнымъ же образомъ слѣдуетъ поступать и тогда, когда разстояніе хотя и менѣе 100 сажень, но послѣ наведенія нижней нити на нуль рейки нельзя отсчитать по верхней нити, вслѣдствіе какихъ либо препятствій.

б) Такъ какъ постоянное  $c$  никогда не превышаетъ 0,5 сажени, то оно совсѣмъ не принимается во вниманіе въ томъ случаѣ, когда опредѣленное дальномѣромъ разстояніе имѣется въ виду нанести на планъ въ такомъ мелкомъ масштабѣ, при которомъ величина  $c$  неощутительна. При нанесеніи тѣхъ же разстояній въ крупномъ масштабѣ величину  $c$ , для избѣжанія сложенія чиселъ, помѣщаютъ на самомъ масштабѣ между первымъ и вторымъ дюймами какъ показано на черт. 197, послѣ чего употребляютъ масштабъ по обыкновенному. с) Для избѣжанія полученія на мѣстности произведенія  $kl$  въ случаѣ неподвижныхъ нитей, въ Баденѣ при топо-

Черт. 197.



графической съемкѣ практикуется построение особаго поперечнаго масштаба, за основаніе котораго принимается число  $k$ , взятое по масштабу съемки. Положимъ, что на планъ надо нанести въ масштабѣ  $\frac{1}{m}$  разстояніе

$$E = kl + c,$$

опредѣленное дальномѣромъ. Если здѣсь сдѣлаемъ  $l$  равнымъ единицѣ, то

$$E - c = k.$$

А это равенство можно понимать такъ: *часть рейки, равная по длинѣ единицѣ, помѣщается между дальномѣрными нитями сѣтки тогда, когда рейка отстоитъ отъ передняго фокуса объектива на разстояніи  $k$  сажень.* Для построения линейнаго масштаба берутъ по данному масштабу съемки  $\frac{1}{m}$  число  $k$  сажень и принимая эту длину за основаніе строятъ на ней поперечный сотенный масштабъ. Понятно, что наименьшее дѣленіе его будетъ соотвѣтствовать одному дѣленію рейки.

d) Такъ какъ въ дальномѣрѣ Порро  $c = 0$ , то число дѣленій рейки между дальномѣрными нитями всегда выражаетъ для него разстояніе въ сажняхъ. e) Если постоянное  $k$  дальномѣра Порро, установленнаго на разстояніи  $k$  равномъ 100 сажнямъ, равно 50 или 200, то сдѣланный на рейкѣ отсчетъ слѣдуетъ соотвѣтственно или увеличить, или уменьшить въ два раза.

f) Паутинные нити сѣтки измѣняютъ свое относительное положеніе отъ измѣненія гигроскопическаго ихъ состоянія вслѣдствіе большей или меньшей влажности воздуха, а потому дальномѣръ, въ которомъ вмѣсто паутинныхъ нитей помѣщается тонкое плоское стекло съ награвированными на немъ тремя горизонтальными и одною вертикальною нитями долженъ давать болѣе точные результаты. Говорятъ, что лишнее стекло въ трубѣ дѣлаетъ изображеніе рейки менѣе яснымъ; но мнѣніе это неосновательно, потому что употребляемое при этомъ стекло настолько тонко, что уменьшеніе ясности изображенія рейки въ трубѣ совершенно неощутительно.

Теорія дальномѣровъ Эртеля (и Порро) требуетъ, чтобы рейка была перпендикулярна къ горизонтальной оптической оси трубы, на нее направленной, и слѣдов. чтобы рейка стояла отвѣсно. Между тѣмъ это условіе, говоря вообще, не соблюдается какъ на мѣстности наклонной, такъ даже и на горизонтальной, ибо при употребленіи дальномѣра нижняя нить его сѣтки направляется на нуль отвѣсно стоящей рейки, назначенный всегда на верху ея. Если требуется опредѣлить горизонтальное проложеніе линіи  $AB$  (черт. 198) мѣстности, то можно было бы поставить рейку перпендикулярно къ оптической оси трубы такъ, чтобы точка пересѣченія рейки съ продолженіемъ этой оптической оси, при направленіи нижней дальномѣрной нити на нуль рейки находилась на одной отвѣсной линіи съ точкою  $B$  мѣстности. Тогда, опредѣливъ даль-

номеромъ разстояніе  $E_1 = Cv$ , достаточно вычислить горизонтальное его проложеніе  $CH = E$  по формулѣ

$$E = E_1 \cos \alpha,$$

гдѣ  $\alpha$  есть уголъ наклоненія оптической оси трубы. Но такая наклонная постановка рейки — перпендикулярно къ оптической оси трубы — хотя и можетъ быть достигнута прикрѣпленіемъ перпендикулярно къ ребру рейки небольшой линейки съ діоптрами, визирная линія которыхъ направляется на горизонтальную ось вращенія трубы дальномѣра, однако она оказалась на практикѣ неудобною, почему и предпочитаютъ ставить рейку *всегда* отвѣсно, вводя въ отсчетъ на ней нѣкоторую поправку. Въ виду незначительности этой поправки, при выводѣ ея принимаютъ, что постоянное  $c$ , которое, какъ видѣли, не превышаетъ 0,5 сажени, равно нулю; вслѣдствіе этого, число дѣленій рейки, заключающееся между дальномѣрными нитями, дѣлается равнымъ числу сажень въ разстояніи рейки отъ инструмента. Обозначимъ число дѣленій въ части  $u'o' = l'$  (черт. 199) рейки, перпендикулярной къ оптической оси трубы, соответствующее разстоянію  $E_1 = Cv$ , чрезъ  $a'$ , а чрезъ  $a$  обозначимъ число дѣленій въ части  $l = uo$  отвѣсно стоящей рейки. Изъ треугольниковъ —  $u'vi$  и  $o'vo$ , принимаемыхъ за прямоугольные при  $u'$  и  $o'$  имѣемъ

$$u'v = uv \cos \alpha$$

$$o'v = ov \cos \alpha,$$

гдѣ  $\alpha = \text{уг. } vCH$  есть уголъ наклоненія оптической оси трубы. Складывая обѣ части этихъ равенствъ, получимъ

$$a' = a \cos \alpha;$$

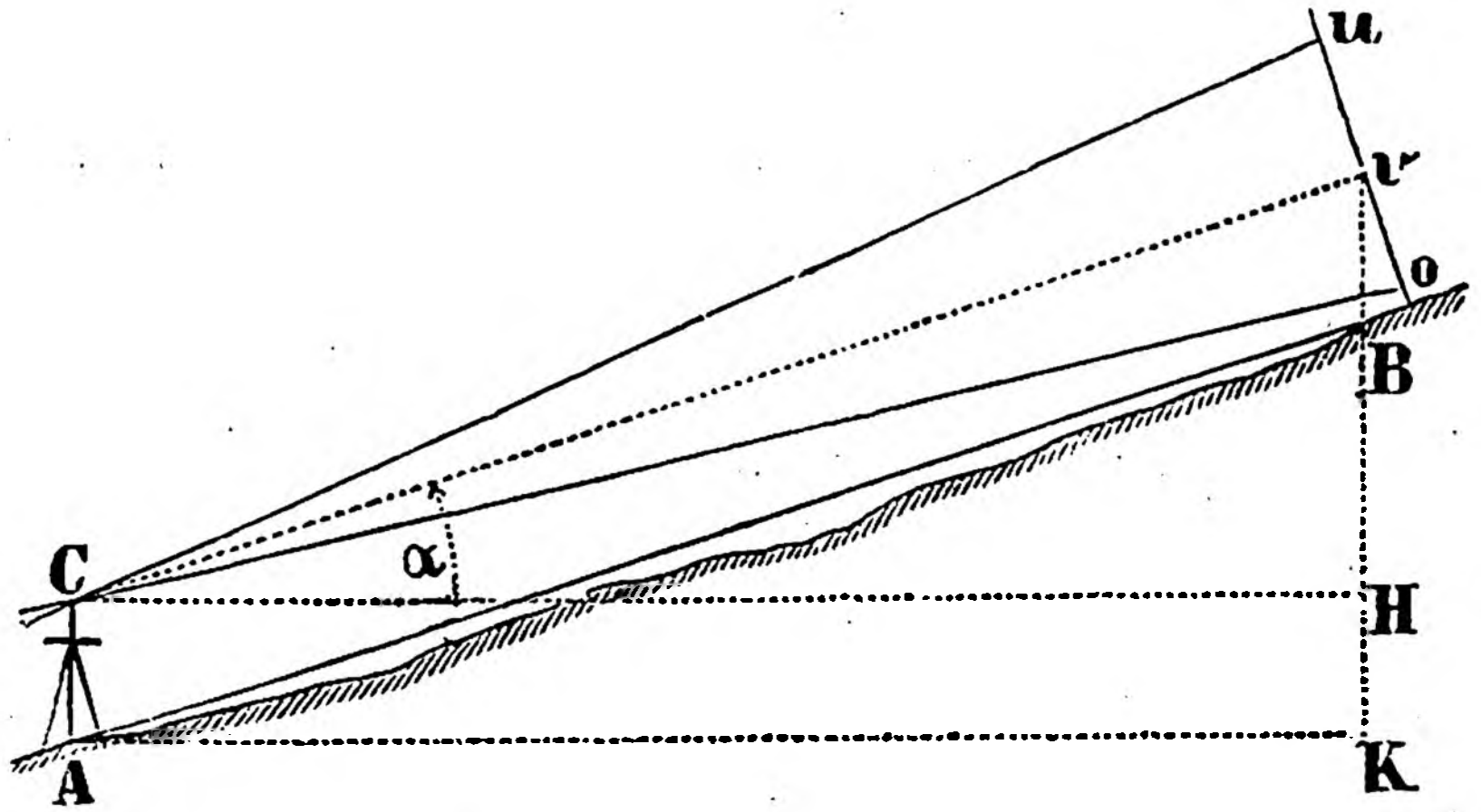
но такъ какъ число сажень въ  $E_1$  равно числу дѣленій  $a'$ , то

$$E_1 = a \cos \alpha.$$

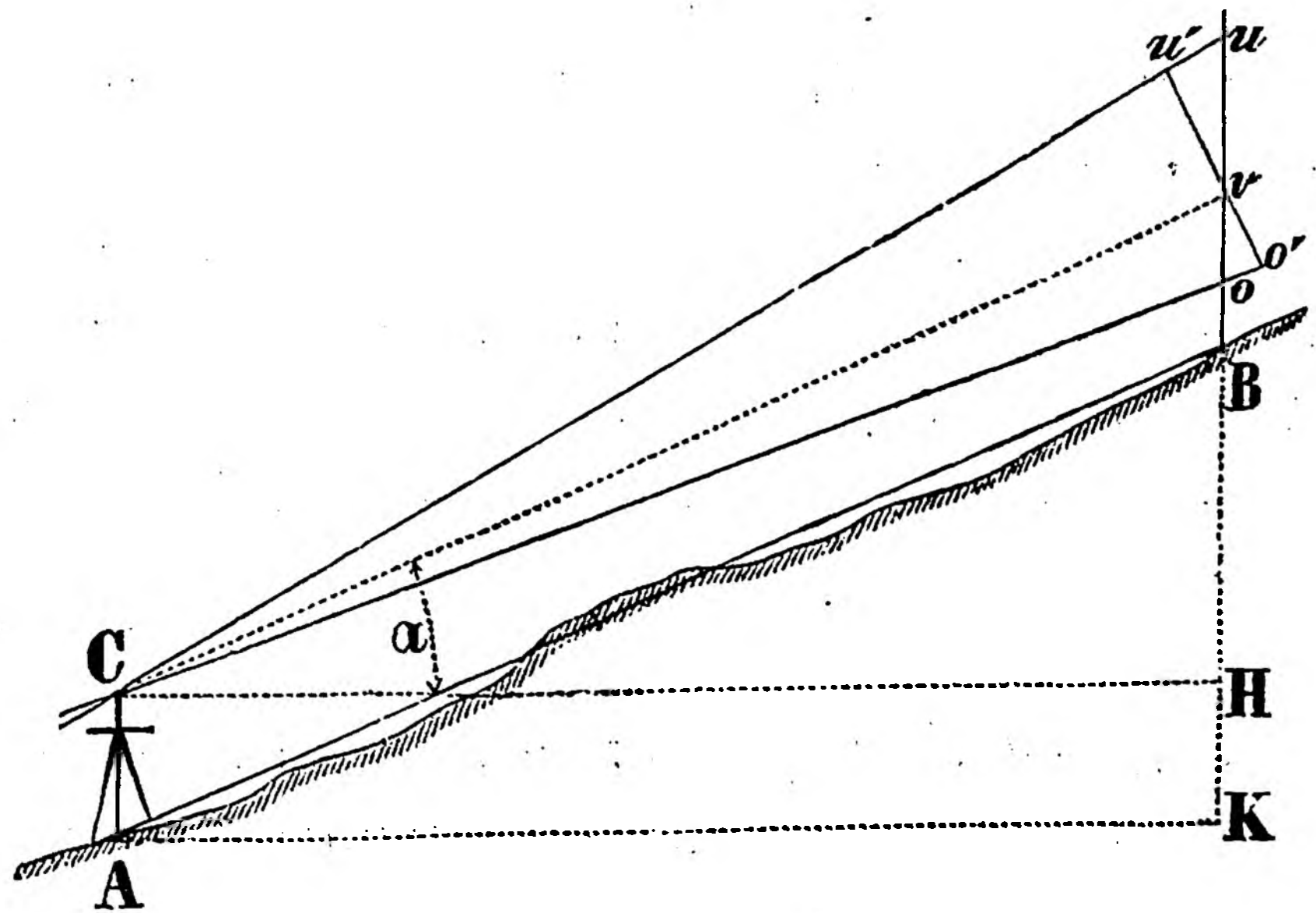
Съ другой стороны изъ чертежа имѣемъ  $E = E_1 \cos \alpha$ , поэтому

$$E = a \cos^2 \alpha, \tag{1}$$

Черт. 198.



Черт. 199.



а поправка въ этомъ разстояніи отъ ненадлежащей постановки рейки будетъ

$$a - E = a (1 - \cos^2 \alpha) = a \sin^2 \alpha. \quad (2)$$

Опредѣливъ  $a - E$  и вычтя это изъ отчета  $a$  на рейкѣ, получимъ исправленное разстояніе  $E$ , ибо

$$a - (a - E) = E.$$

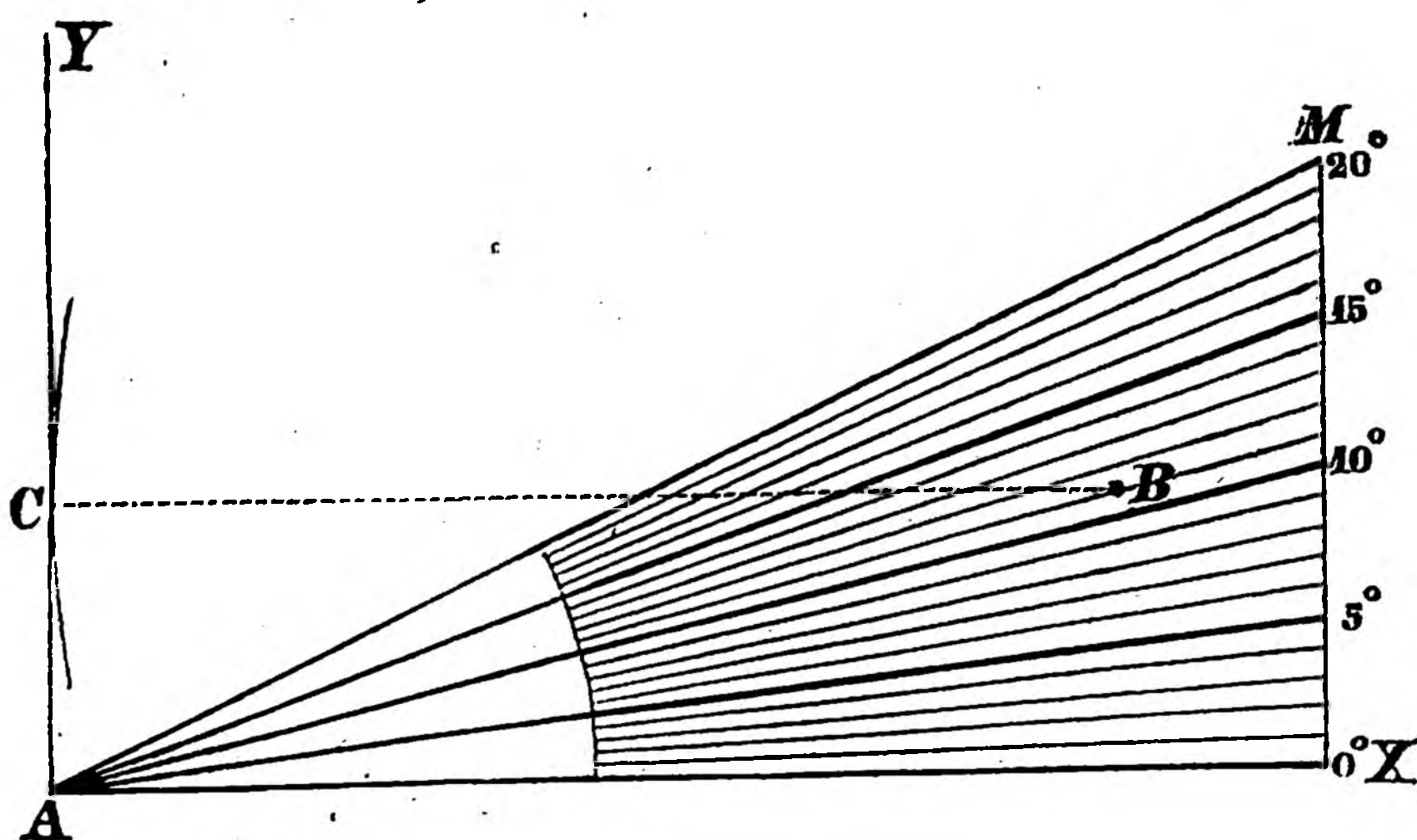
Формула (2) выговаривается такъ: *поправка въ саженьяхъ отъ перпендикулярнаго стоянія рейки къ оптической оси трубы и отъ негоризонтальности опредѣляемаго разстоянія равна числу дѣлений рейки между дальномѣрными нитями, умноженному на  $\sin^2$  угла наклоненія оптической оси трубы.* Уголъ же этотъ можетъ быть опредѣленъ посредствомъ вертикальнаго круга или сектора, придѣлываемаго, какъ увидимъ ниже, къ горизонтальной оси вращенія трубы. Для избѣжанія вычисленія формулы составляется таблица, изъ которой получается эта поправка по аргументу  $\alpha$ . Таблица подъ номеромъ VI помѣщена въ концѣ книги. Изъ нея видно, что при углѣ  $\alpha$  до  $3^\circ$  поправка не должна быть принимаема во вниманіе по своей незначительности; ибо при  $E_0 = 200$  и  $\alpha = 3^\circ$  поправка равна  $0,6^\circ$ , что составляетъ  $\frac{0,6}{200} = \frac{1}{333}$ , а это менѣе дроби, представляющей точность измѣренія разстояній дальномѣрами.

Горизонтальное проложеніе разстоянія, измѣреннаго посредствомъ дальномѣра, можетъ быть получено также и графически при помощи діаграммы Иордана. Построеніе этой діаграммы основано на выведенной въ этомъ параграфѣ формулѣ (1). Если положимъ, что  $\cos^2 \alpha = \cos \varphi$ , то

$$E = a \cos^2 \alpha = a \cos \varphi.$$

Вслѣдствіе этого, искомое горизонтальное проложеніе можетъ быть принято за катеть прямоугольнаго треугольника, гипотенуза [ котораго

Черт. 158.



есть  $a$ , а уголъ между  $E$  и  $a$  есть  $\varphi$ . Самое построеніе производится слѣдующимъ образомъ: на концѣ линіи  $AX$  (черт. 200) длиною въ нѣ-

сколько дюймовъ, возставляютъ перпендикуляръ  $XM$ , на которомъ откладываются длины, вычисленные по формулѣ

$$XM = AX \cdot \operatorname{tg} \varphi;$$

при чемъ предварительно опредѣляется  $\varphi$  по формулѣ

$$\cos \varphi = \cos^2 \alpha,$$

дѣлая послѣдовательно  $\alpha$  равнымъ  $1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, 4^\circ, \dots$ . Соединяютъ затѣмъ точку  $A$  съ концами длинъ, отложенныхъ на перпендикуляръ  $XM$ , надписываютъ концы этихъ длинъ соответственными значеніями величины  $\alpha$  и проводятъ линію  $AU$  перпендикулярную къ  $AX$ . Для примѣра употребленія діаграммы положимъ, что  $a$ , непосредственно отсчитанное на рейкѣ, равно  $94,7$  и  $\alpha = 11^\circ 6'$ ; тогда взявъ по масштабу циркулемъ  $94,7$  саж. и поставивъ одну ножку циркуля въ  $A$ , а другую — на линію, соответствующую подписи  $11^\circ 6'$ , поворачиваютъ циркуль около  $B$  и придвигаютъ другую ножку настолько, чтобы описываемая ею дуга касалась линіи  $AU$ . Очевидно, что  $BC$ , измѣренное по тому же масштабу, по которому брали  $AB$ , выразитъ искомое горизонтальное проложеніе  $E$ . Достаточно строить діаграмму отъ  $1^\circ$  до  $1^\circ$ , а минуты оцѣнивать на-глазъ. Если линія  $AB$  настолько мала, что  $B$  падаетъ на такое мѣсто діаграммы, на которомъ не проведены градусные лучи, то увеличиваютъ ее въ 2 или 4 раза и поступаютъ по предыдущему. Понятно, что во столько же разъ будетъ увеличена и линія  $BC$ .

Для облегченія построения діаграммы предлагаемъ здѣсь таблицу, дающую  $\operatorname{tg} \varphi$  по аргументу  $\alpha$  при измѣненіи этого послѣдняго на  $1^\circ$ .

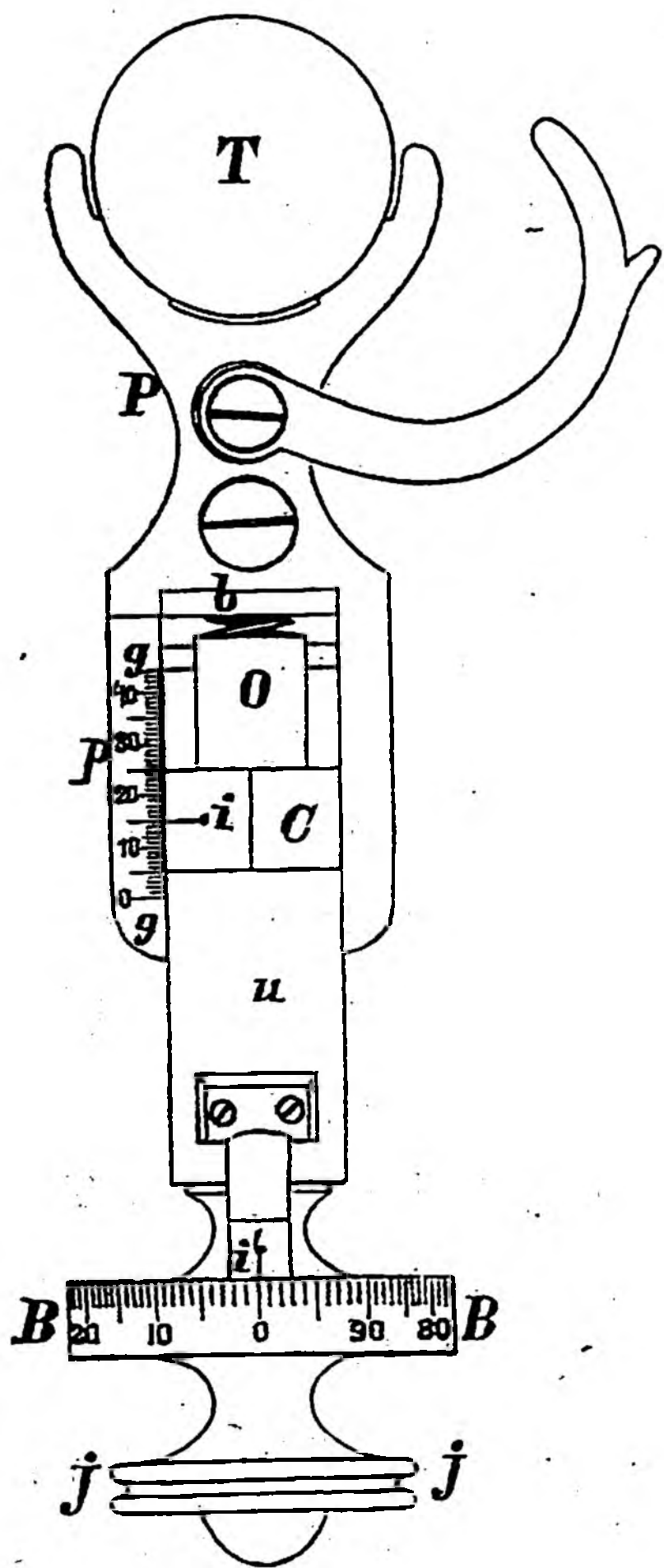
$\alpha$	$\varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$\alpha$	$\varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$\alpha$	$\varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$\alpha$	$\varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	$\alpha$	$\varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$
0°	0° 0'	0,0000	10°	14° 6'	0,2513	20°	27° 59'	0,5315	30°	41° 25'	0,8819	40°	54° 4'	1,3799
1	1 25	0,0247	11	15 30	0,2775	21	29 21	0,5625	31	42 43	0,9232	41	55 17	1,4430
2	2 50	0,0494	12	16 55	0,3040	22	30 43	0,5942	32	44 1	0,9662	42	56 29	1,5095
3	4 15	0,0742	13	18 18	0,3308	23	32 5	0,6268	33	45 18	1,0106	43	57 40	1,5796
4	5 39	0,0990	14	19 42	0,3581	24	33 26	0,6601	34	46 35	1,0568	44	58 50	1,6537
5	7 4	0,1240	15	21 5	0,3857	25	34 47	0,6944	35	47 51	1,1050	45	60 0	1,7321
6	8 29	0,1491	16	22 29	0,4138	26	36 7	0,7297	36	49 7	1,1551			
7	9 53	0,1743	17	23 52	0,4423	27	37 27	0,7659	37	50 22	1,2075			
8	11 18	0,1997	18	25 15	0,4715	28	38 47	0,8034	38	51 37	1,2623			
9	12 42	0,2254	19	26 37	0,5012	29	40 6	0,8420	39	52 51	1,3197			
10	14 6	0,2513	20	27 59	0,5315	30	41 25	0,8819	40	54 4	1,3799			

§ 119. Устройство дальномѣровъ съ измѣняющимся угломъ основано на примѣненіи счетнаго аппарата, могущаго измѣрять передвиженіе линіи визированія отъ одного конца предмета до другаго или, иначе, измѣряющаго уголъ зрѣнія для одного и того же предмета при различныхъ его удаленіяхъ отъ наблюдателя. Въ настоящемъ параграфѣ займемся разсмотрѣніемъ того изъ этихъ дальномѣровъ, который чаще употребляется, — а именно, дальномѣра *Штаммфера*.



Одна изъ составныхъ частей этого дальномера есть астрономическая или земная труба съ сѣткою изъ двухъ перпендикулярныхъ между собою нитей. Эта труба кладется на двѣ вилкообразныя подставки, изъ которыхъ одна, изображенная на черт. 201 съ положенною на нее трубою  $T$ , представляетъ существенную часть этого дальномера — счетный аппаратъ.

Черт. 201.



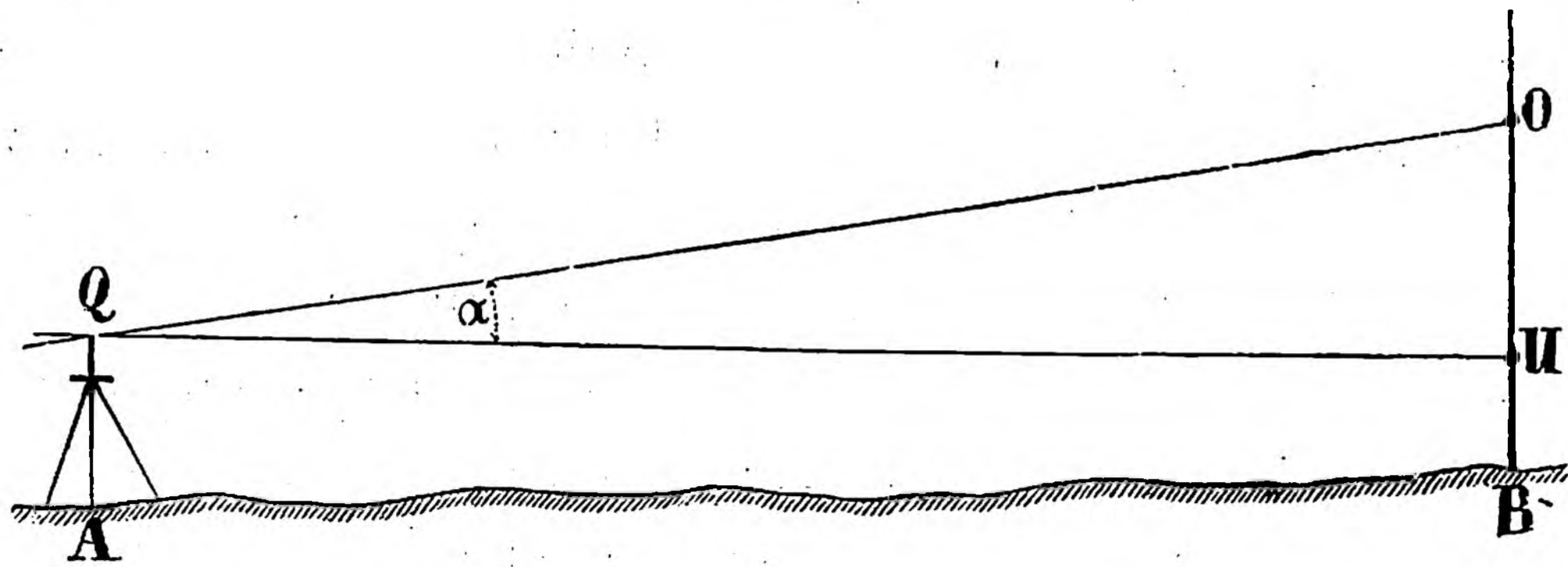
Стержень микрометричнаго винта  $J$  проходитъ черезъ цилиндры  $O$  и  $C$ , входяще одинъ въ другой, и придерживается на своемъ концѣ пластинкою  $b$  подставки  $P$ . Поворачиваніемъ этого винта можно повышать или понижать подставку  $P$ , а слѣдов. и лежащую на ней часть трубы. Это передвиженіе подставки въ вертикальной плоскости можетъ быть измѣряемо посредствомъ дѣлений шкалы  $g$ , назначенной на рукавъ  $r$ , и показателя  $i$ , прикрѣпленнаго къ неподвижному цилиндру  $O$ . Величина этихъ дѣлений такова, что каждое изъ нихъ соотвѣтствуетъ одному полному обороту винта  $J$ . Для опредѣленія долей полныхъ оборотовъ на головкѣ винта  $J$  укрѣпленъ барабанъ  $B$ , ободокъ котораго раздѣленъ на 100 равныхъ частей, отсчитываемыхъ по показателю  $i'$ , назначенному на особой пластинкѣ, прикрѣпленной къ цилиндру  $u$ ; причемъ такъ какъ дѣленія ободка барабана довольно крупны, то по показателю можно оцѣнивать на-глазъ десятыя ихъ доли. Слѣдов. посредствомъ шкалы  $b$  и барабана  $B$  можно опредѣлять цѣлые обороты винта  $J$ , а также десятыя, сотыя и тысячныя доли оборотовъ. Надо сказать, что для уничтоженія мертваго хода винта  $J$  внутри цилиндра  $C$  помещена стальная спиральная пружина. Повышеніемъ или пониженіемъ подставки  $P$  оптическая ось трубы можетъ быть наклоняема до  $8^\circ$ , и уголъ зрѣнія на какой нибудь предметъ можетъ быть выраженъ въ цѣлыхъ оборотахъ микрометричнаго винта  $J$  и ихъ доляхъ. Наконецъ къ подставкамъ трубы прикрѣпленъ уровень, ось котораго параллельна оптической оси трубы. При повышеніи или пониженіи подставки  $P$  наклоняется и ось этого уровня.

Рейка, употребляемая при дальномерѣ Штампфера, есть простой брусъ безъ дѣлений, къ которому прикрѣпляются двѣ прямоугольныя дощечки, называемыя *цѣлями*. Каждая такая цѣль, имѣющая въ длину около 12 дюйм., а въ ширину около 3 дюйм., раздѣлена по длинѣ горизонтальною чертою на двѣ части, окрашиваемыя различными красками: бѣлою и черною или бѣлою и красною. Разстояніе обѣихъ цѣлей между линіями, отдѣляющими одну окраску отъ другой, должно быть опредѣленное; по большей части оно равно 1 сажени.

Теорія дальномера Штампфера состоитъ въ слѣдующемъ: положимъ, что на мѣстности въ точкѣ  $A$  (черт. 202), представляющей одинъ изъ концовъ опредѣляемаго разстоянія  $AB = D$ , поставленъ дальномеръ

Штампфера, а на другомъ концѣ въ точкѣ  $B$  поставлена рейка съ двумя цѣлями  $O$  и  $U$ , укрѣпленными на ней въ опредѣленномъ разстояніи  $d$  другъ отъ друга. Если наблюдатель, стоящій при инструментѣ, наведетъ вращеніемъ шляпки микрометричнаго винта  $J$  горизонтальную нить сѣтки трубы послѣдовательно на цѣли  $O$  и  $U$  и сдѣлаетъ при этомъ на шкалѣ и ободкѣ барабана отсчеты соотвѣтственно  $o$  и  $u$ , то можно показать, что этихъ двухъ отсчетовъ достаточно для опре-

Черт. 202.



дѣленія искомаго разстоянія  $D$ . Дѣйствительно, треугольникъ  $OQU$  можно принимать на приблизительно горизонтальной мѣстности за прямоугольный при точкѣ  $U$ , ибо высота нижней цѣли надъ землею обыкновенно равна 0,5 саж., что мало отличается отъ средней высоты инструмента (0,7 саж.); а потому

$$d = D \operatorname{tg} \alpha.$$

Но такъ какъ  $\alpha$  никогда не превышаетъ, какъ мы видѣли,  $8^\circ$ , то по малости его можно принять  $\operatorname{tg} \alpha$  пропорціональнымъ числу оборотовъ винта  $J$ , такъ что

$$\operatorname{tg} \alpha = C(o - u),$$

гдѣ  $C$  есть величина постоянная, зависящая отъ размѣровъ нѣкоторыхъ частей инструмента. Подставляя предыдущее равенство въ первое, получимъ

$$D = \frac{1}{C} \cdot \frac{1}{o - u} \cdot d$$

или, обозначивъ  $\frac{1}{C}$  чрезъ  $k$  и сдѣлавъ  $d = 1$  саж., имѣемъ

$$D = \frac{k}{o - u}. \quad (D)$$

Это и есть формула для опредѣленія разстояній дальномѣромъ Штампфера. Если  $d$  не равно 1 саж., то вторая часть формулы должна быть умножена на соотвѣтственное  $d$ .

Однако прежде чѣмъ пользоваться предыдущею формулою, нужно показать приемъ опредѣленія постоянной величины  $k$ . На возможно горизонтальной и ровной мѣстности измѣряютъ линію длиною, напр. во 100 саж.; поставивъ на одномъ концѣ ея дальномѣръ, а на другомъ — рейку съ цѣлями на разстояніи, равномъ 1 сажени другъ отъ друга, наводятъ микрометричнымъ винтомъ горизонтальную нить сѣтки на тѣ

черты верхней и нижней цѣли, которыя отдѣляютъ свѣтлую краску отъ темной, и дѣлають на шкалѣ и ободкѣ отсчеты  $o$  и  $u$ . Наконецъ поставивъ соотвѣтственные числа въ предыдущую формулу, получимъ

$$k = D(o - u).$$

Для ослабленія вліянія неизбѣжныхъ погрѣшностей измѣренія дѣлають нѣсколько такихъ опредѣленій и среднее арифметическое изъ нихъ принимаютъ за истинную величину  $k$ . Строго говоря, различныя мѣста микрометричнаго винта должны давать различныя значенія для  $k$ , но обыкновенно довольствуются тѣмъ значеніемъ, которое соотвѣтствуетъ срединѣ шкалы  $g$ . Вѣнскій механикъ Штарке, изготовляющій дальномѣры Штампера, дѣлаеть  $k = 324$  для того мѣста микрометричнаго винта, при которомъ показателъ  $i$  стоитъ на штрихѣ шкалы, подписанномъ числомъ 20, а показателъ  $i'$  на нуль ободка барабана. Инструменты, изготовленные русскимъ механикомъ Шперлингомъ, имѣють  $k = 321,8$ , соотвѣтствующее тѣмъ же положеніямъ показателей  $i$  и  $i'$ .

Употребленіе дальномѣра Штампера состоитъ въ слѣдующемъ: ставъ съ нимъ въ одну изъ конечныхъ точекъ опредѣляемаго разстоянія, въ другую конечную точку ставятъ отвѣсно рейку съ двумя неподвижными цѣлями; затѣмъ направивъ трубу на рейку и установивъ показатели  $i$  и  $i'$  на 20 шкалы и нуль ободка барабана, наводятъ трубу (посредствомъ подъемныхъ винтовъ инструмента, при которомъ устроенъ дальномѣръ) на среднюю между неподвижными цѣлями точку рейки и вращеніемъ микрометричнаго винта наводятъ горизонтальную нить сѣтки послѣдовательно на тѣ черты верхней и нижней цѣли, которыя отдѣляютъ свѣтлую краску отъ темной и которыя отстоятъ другъ отъ друга обыкновенно въ разстояніи одной сажени; если наконецъ отсчеты на шкалѣ и барабанѣ при этихъ наведеніяхъ будутъ соотвѣтственно  $o$  и  $u$ , то искомое разстояніе будетъ

$$D = \frac{k}{o - u}.$$

Для избѣжанія вычисленія этой формулы составляется таблица, которая даетъ числовое значеніе  $\frac{k}{o - u}$  непосредственно по аргументу  $o - u$ .

Въ концѣ настоящей книги приложена такая таблица подъ № VII для  $k = 324$ . Она вычислена для всѣхъ значеній  $o - u$  отъ 1 до 10 при измѣненіи этой разности на 0,01 оборота микрометричнаго винта. Въ колоннѣ „Пропорц. части“ содержится поправка на тысячныя доли оборотовъ винта; при чемъ эта поправка помѣщена въ томъ же отдѣленіи таблицы въ одну строку съ числомъ  $o - u$ , оканчивающимся такою же цифрою, какъ и цифра тысячныхъ долей. Такъ напр. поправка для 0,006 оборота поставлена на той строкѣ, на которой помѣщается въ этомъ отдѣленіи  $o - u$ , оканчивающееся на 6. Эти пропорціональныя части всегда вычитаются, ибо разстояніе  $D$  уменьшается съ увеличеніемъ  $o - u$ .

Примѣръ:

$$o - u = 3,167$$

для 3,16 по таблицѣ имѣемъ . . . . .	$D = 102,53$
поправка для 0,007 . . . . .	— 0,23

---

слѣд. искомое  $D = 102,30$ .

Таблица, какъ сказано, простирается отъ  $o - u = 1$  до  $o - u = 30$ , что соотвѣтствуетъ 324 и 32,4 саженьямъ; но легко найти  $D$  и не лежащее между этими предѣлами, ибо въ томъ случаѣ когда  $o - u < 1$  переносятъ запятую вправо чрезъ одну цифру, берутъ соотвѣтственное разстояніе изъ таблицы и увеличиваютъ его въ 10 разъ; если же  $o - u > 10$ , то запятую переносятъ влѣво чрезъ одну цифру. Если  $d$  не равно 1 саж., то полученные по таблицѣ разстоянія надо умножить на соотвѣтственное  $d$ .

Таблица, составленная для  $k = 324$ , можетъ быть сдѣлана пригодною и для всякаго другаго значенія  $k$ , нужно только измѣнить соотвѣтственное  $d$ , т. е. разстояніе между цѣлями. Напр., если  $k = 321,8$ , то можно найти такое  $d$ , которое удовлетворяетъ равенству

$$321,8 d = 324.$$

Отсюда  $d = \frac{324}{321,8} = 1,007$  саж.

Слѣдов. при разстояніи между цѣлями равнымъ 1,007 саж. таблица, составленная для  $k = 324$  будетъ примѣнима и для  $k = 321,8$ .

Для полученія дальномѣромъ Штампфера возможно точнаго разстоянія нужно имѣть въ виду, что значеніе  $k = 324$ , положенное въ основаніе таблицы, соотвѣтствуетъ срединѣ шкалы и измѣняется для различныхъ мѣстъ винта  $J$ , а также и то, что для полученія горизонтальнаго проложенія разстоянія надо было бы въ числовую величину его, полученную по предыдущей формулѣ ( $D$ ), ввести еще двѣ поправки: одну — отъ измѣняемости величины  $k$  для различныхъ мѣстъ шкалы, выражающуюся членомъ

$$+ 0,0356 \frac{o + u - 2m}{o - u},$$

и другую — отъ наклонности разстоянія къ горизонту

$$- 0,00310 \frac{(h - u)^2}{o - u}.$$

Здѣсь  $m$  есть нѣкоторая постоянная величина инструмента,  $h$  — тотъ отсчетъ на шкалѣ и ободкѣ барабана, при которомъ оптическая ось трубы горизонтальна, а остальные буквы имѣютъ прежнее значеніе \*). Однако, въ виду малой точности вообще дальномѣра Штампфера и въ виду, въ особенности по отношенію ко второй поправкѣ, незначительности наибольшаго наклоненія трубы ( $8^\circ$ ), едва ли необходимо принимать эти поправки во вниманіе.

---

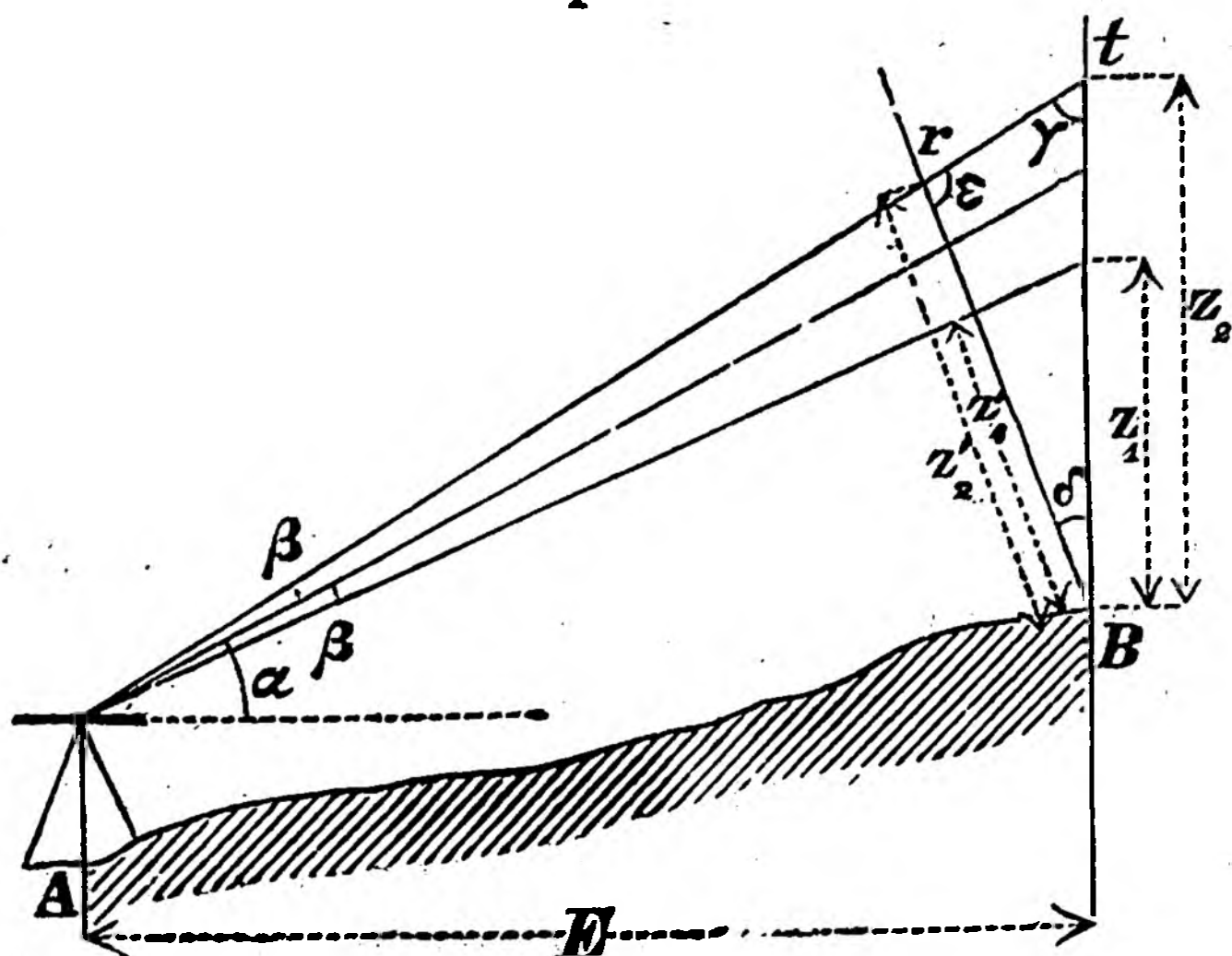
\*) Выводъ этихъ поправокъ имѣется въ Stampfer's theoretische u. praktische Anleitung zum Nivelliren.

§ 120. О степени точности даваемых дальномѣрами результатовъ можно судить изъ сравненія ихъ съ результатами измѣренія тѣхъ же длинъ, полученныхъ путемъ болѣе точнымъ, напр. мѣрительною лентою, брусьями и даже цѣпью. Изъ большаго ряда такихъ сравненій выведено, что *средняя* ошибка для дальномѣровъ Эртеля (и Порро) равна почти  $\frac{1}{400}$  опредѣляемаго разстоянія. А такъ какъ *предѣльная* ошибка почти втрое болѣе средней, то *предѣльная* ошибка измѣренія линій дальномѣрами Эртеля (и Порро) есть  $\frac{1}{133}$  или круглымъ числомъ  $\frac{1}{125}$  опредѣляемаго разстоянія, что составляетъ 0,8 сажени на каждыя 100 сажень.

Точность дальномѣра Штампфера значительно уступаетъ точности дальномѣра Эртеля (и Порро) главнымъ образомъ потому, что въ промежутокъ времени между наведеніемъ горизонтальной нити сѣтки на верхнюю и нижнюю цѣли рейка дальномѣра Штампфера, поддерживаемая рукою рабочаго, не сохраняетъ своего положенія, а неизбежно колеблется по направленію къ инструменту и отъ него. Такое колебаніе рейки не имѣетъ почти вліянія на отсчеты дальномѣровъ Эртеля (и Порро), потому что точки, покрываемыя обѣими дальномѣрными нитями, могутъ быть наблюдаемы почти одновременно, что неисполнимо въ дальномѣрѣ Штампфера. Кромѣ того дальномѣрѣ Штампфера уступаетъ дальномѣру Эртеля (и Порро) какъ относительно простоты устройства, такъ и быстроты употребленія. Если къ этому еще прибавить большую стоимость всѣхъ дальномѣровъ, основанныхъ на вращеніи микрометричнаго винта, вслѣдствіе затруднительности тщательнаго его изготовленія, то очевидно нитяные дальномѣры должны во всѣхъ отношеніяхъ предпочитаться дальномѣрамъ съ микрометричнымъ винтомъ.

§ 121. Опредѣлимъ вліяніе уклоненія рейки отъ отвѣснаго ея положенія на измѣреніе разстояній дальномѣромъ. Положимъ, что при опредѣленіи дальномѣромъ горизонтальнаго проложенія линіи  $AB$  (черт. 203), оптическая ось трубы составляетъ съ горизонтальною линіею уголъ  $\alpha$ , углы же составляемые оптической осью съ линіями, идущими отъ нижней и верхней дальномѣрныхъ нитей сѣтки, пусть будутъ  $\beta$ ; тогда если допустимъ, что рейка уклонилась отъ отвѣснаго положенія въ ту или другую сторону на уголъ  $\delta$ , вмѣсто отсчетовъ  $z_2$  и  $z_1$ , получимъ соответственно  $z_2'$  и  $z_1'$ . Изъ треугольника  $rBt$ , въ которомъ  $\gamma = 90^\circ - (\alpha + \beta)$

Черт. 203.



и  $\epsilon = 180^\circ - \gamma - \delta = 90^\circ + (\alpha + \beta - \delta)$ , имѣемъ

$$\frac{z_2'}{z_2} = \frac{\sin \gamma}{\sin \epsilon} = \frac{\cos (\alpha + \beta)}{\cos (\alpha + \beta - \delta)}.$$

положенія линіи  $AB$  (черт. 203), оптическая ось трубы составляетъ съ горизонтальною линіею уголъ  $\alpha$ , углы же составляемые оптической осью съ линіями, идущими отъ нижней и верхней дальномѣрныхъ нитей сѣтки, пусть будутъ  $\beta$ ; тогда если допустимъ, что рейка уклонилась отъ отвѣснаго положенія въ ту или другую сторону на уголъ  $\delta$ , вмѣсто отсчетовъ  $z_2$  и  $z_1$ , получимъ соответственно  $z_2'$  и  $z_1'$ . Изъ треугольника  $rBt$ , въ которомъ  $\gamma = 90^\circ - (\alpha + \beta)$

По малости  $\beta$  и  $\delta$  можно написать:

$$\frac{\cos(\alpha + \beta)}{\cos(\alpha + \beta - \delta)} = \frac{\cos \alpha - \beta \sin \alpha}{\cos \alpha - (\beta - \delta) \sin \alpha} = \frac{1 - \beta \operatorname{tg} \alpha}{1 - (\beta - \delta) \operatorname{tg} \alpha} = \\ = (1 - \beta \operatorname{tg} \alpha) (1 + (\beta - \delta) \operatorname{tg} \alpha) = 1 - \delta \operatorname{tg} \alpha;$$

слѣдов.

$$z'_2 = z_2 (1 - \delta \operatorname{tg} \alpha).$$

Предполагая, что въ случаѣ дальномѣра Эртеля или Порро рейка въ моментъ отсчитыванія по верхней дальномѣрной нити не измѣнила своего положенія, т. е. что уголъ  $\delta$  остался тотъ же, будемъ имѣть для верхней дальномѣрной нити

$$z'_1 = z_1 (1 - \delta \operatorname{tg} \alpha).$$

Обращаемъ особое вниманіе на то, что это предположеніе можетъ быть допущено *только* для дальномѣровъ Эртеля и Порро, ибо только для нихъ возможно при отсчитываніи по верхней нити бросать по временамъ взгляды на нижнюю нить и слѣдить за тѣмъ, чтобы она покрывала нуль рейки; при употребленіи же дальномѣра Штампфера, когда отсчеты  $o$  и  $u$  на шкалѣ и барабанѣ дѣлаются *не* въ одинъ моментъ, это предположеніе невозможно. Вслѣдствіе того, что  $\delta$  измѣнить свой знакъ при наклоненіи рейки *отъ* инструмента можемъ написать вообще для дальномѣровъ Эртеля и Порро:

$$z'_2 - z'_1 = (z_2 - z_1) (1 \pm \delta \operatorname{tg} \alpha),$$

гдѣ знакъ  $+$  соотвѣтствуетъ случаю наклоненія рейки *отъ* инструмента, а знакъ  $-$  наклоненію рейки по направленію *къ* инструменту. Обозначая разности  $z'_2 - z'_1$  и  $z_2 - z_1$  соотвѣтственно чрезъ  $l'$  и  $l$ , имѣемъ

$$l' = l \pm l \delta \operatorname{tg} \alpha.$$

Такъ какъ длины  $l'$  и  $l$  на рейкахъ прямо пропорціональны горизонтальнымъ разстояніямъ реекъ отъ передняго фокуса объектива, то обозначивъ эти разстоянія соотвѣтственно чрезъ  $D$  и  $D'$ , получимъ

$$D' = D \pm D \delta \operatorname{tg} \alpha$$

или

$$D' - D = \pm D \delta \operatorname{tg} \alpha. \quad (1)$$

Слѣдов., *ошибка въ разстояніи, определяемомъ дальномѣрами Эртеля и Порро, происходящая отъ неотвѣснаго положенія рейки, прямо пропорціональна самому разстоянію и уклоненію рейки отъ отвѣса.*

Если эту ошибку выразить въ процентахъ разстоянія, то получимъ слѣдующую таблицу:

Наклонъ $\delta$ рейки.	Уголъ накл. $\alpha$ опт. оси трубы.				
	5°	10°	20°	30°	45°
1 : 100 или 0°34'	0,1%	0,2%	0,4%	0,6%	1,0%
1 : 50 или 1° 9'	0,2	0,4	0,7	1,2	2,0
1 : 25 или 2°18'	0,3	0,7	1,5	2,3	4,0
1 : 10 или 5°43'	0,9	1,8	3,6	5,8	10,0

изъ которой видно, что ошибка сильно увеличивается съ увеличеніемъ наклона  $\alpha$  линіи мѣстности и наклона  $\delta$  рейки. Вслѣдствіе этого для вертикальной установки рейки полезно, а въ мѣстностяхъ гористыхъ даже и необходимо пользоваться или уровнемъ, или отвѣсомъ.

Для дальномѣровъ Штампфера когда  $\delta$  въ формулахъ для  $z'_2$  и  $z'_1$  неодинаковы имѣемъ

$$\begin{aligned} z'_2 &= z_2 (1 \pm \delta_2 \operatorname{tg} \alpha) \\ z'_1 &= z_1 (1 \pm \delta_1 \operatorname{tg} \alpha); \end{aligned}$$

откуда  $z'_2 - z'_1 = z_2 - z_1 - (\pm \delta_2 z_2 \pm \delta_1 z_1) \operatorname{tg} \alpha.$

Знакъ, стоящій передъ величинами  $\delta_2$  и  $\delta_1$ , намъ вообще неизвѣстенъ, а потому для опредѣленія средней величины разности  $z'_2 - z'_1$ , поступимъ такъ: напомнимъ тождество

$$\pm \delta_2 z_2 \pm \delta_1 z_1 = \pm \sqrt{\delta_2^2 z_2^2 + \delta_1^2 z_1^2 \pm 2\delta_1 \delta_2 z_1 z_2}.$$

Относительно послѣдняго члена подъ корнемъ замѣтимъ, что, такъ какъ знакъ  $+$  настолько же вѣроятенъ, какъ и знакъ  $-$ , то средняя величина этого члена равна нулю. Если кромѣ того вмѣсто  $\delta_2^2$  и  $\delta_1^2$  возьмемъ нѣкоторую среднюю величину  $\delta^2$ , то предыдущее тождество обратится въ

$$\pm \delta_2 z_2 \pm \delta_1 z_1 = \pm \delta \sqrt{z_2^2 + z_1^2}.$$

Поэтому

$$z'_2 - z'_1 = z_2 - z_1 \pm \delta \sqrt{z_2^2 + z_1^2} \operatorname{tg} \alpha$$

или

$$\frac{z'_2 - z'_1}{z_2 - z_1} = 1 \pm \delta \frac{\sqrt{z_2^2 + z_1^2}}{z_2 - z_1} \operatorname{tg} \alpha$$

Вводя опять разстоянія  $D$  и  $D'$ , получимъ

$$\frac{D'}{D} = 1 \pm \frac{\sqrt{z_2^2 + z_1^2}}{z_2 - z_1} \delta \operatorname{tg} \alpha$$

или

$$D' - D = \pm \frac{\sqrt{z_2^2 + z_1^2}}{z_2 - z_1} D \delta \operatorname{tg} \alpha. \quad (2)$$

Сравнивая эту формулу съ формулою (1), видимъ, что вторая часть ея болѣе, ибо отношеніе  $\frac{\sqrt{z_2^2 + z_1^2}}{z_2 - z_1}$  всегда болѣе единицы. Напр., если для разстоянія 100 саж. и  $k = 100$  предположимъ, что  $z_2 = 1,5$  саж., а  $z_1 = 0,5$  саж., то  $\frac{\sqrt{z_2^2 + z_1^2}}{z_2 - z_1} = 1,6$ , т. е. ошибка въ разстояніи будетъ въ этомъ частномъ случаѣ при дальномѣрѣ Штампфера въ полтора слишкомъ раза болѣе ошибки того же разстоянія, вычисленной по формулѣ (1), соотвѣтствующей дальномѣрамъ Эртеля и Порро.



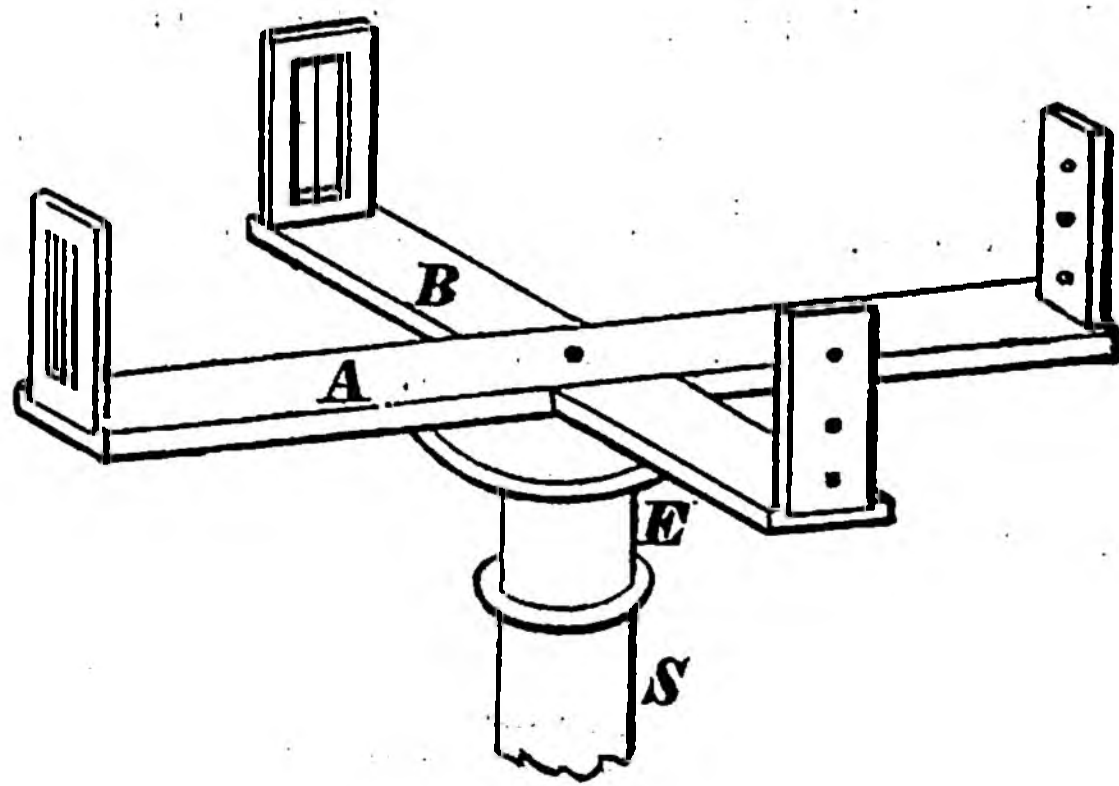
## ГЛАВА IV.

### Инструменты для постоянных угловъ.

§ 122. Для проведения на мѣстности линій, составляющихъ между собою постоянные углы въ  $90^\circ$ , употребляются особые снаряды, называемые *экерами*. Устройство экеровъ иногда таково, что ими можно назначать на мѣстности также линіи подъ углами въ  $45^\circ$ ,  $135^\circ$  и  $180^\circ$ . Экеры бываютъ: *простые* и *отражательные*, а отражательные въ свою очередь раздѣляются на *зеркальные* и *призменные*.

*Простые* экеры \*) суть: крестообразный, восьмигранный, цилиндрическій и коническій. *Экеръ крестообразный* состоитъ изъ двухъ металлическихъ линеекъ *A* и *B* (черт. 204), соединенныхъ между собою подъ прямымъ угломъ. На концахъ линеекъ помѣщены діоптры, коллимаціонныя плоскости которыхъ составляютъ между собою уголъ въ  $90^\circ$ .

Черт. 204.



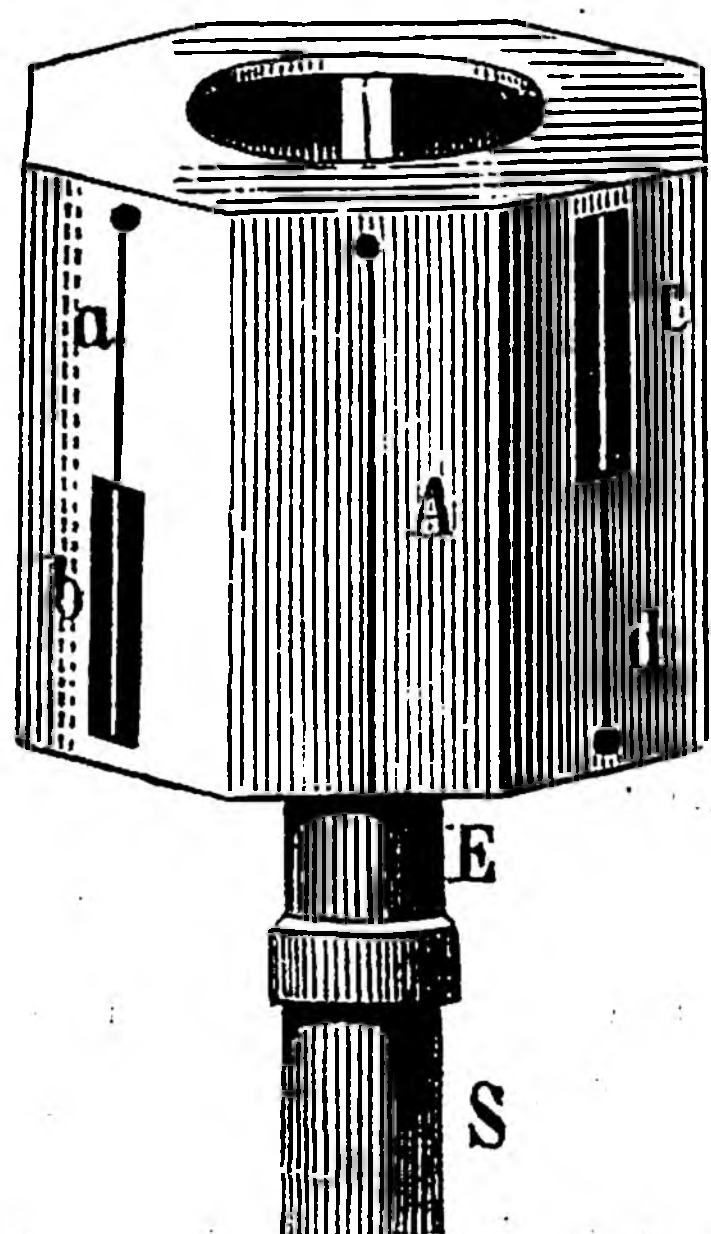
Снизу линеекъ, въ мѣстѣ ихъ соединенія, придѣляется втулка *E*, которою экеръ надѣвается на штативъ — палку *S*. Экеръ крестообразный менѣе удобенъ для переноски, чѣмъ остальные простые экеры. *Восьмигранный экеръ* состоитъ изъ восьмигранной металлической призмы

\*) Французское слово *equerre* происходитъ отъ латинскаго слова *quadrare* — строить квадратъ. Простые экеры весьма давняго происхожденія, ибо описаніе ихъ встрѣчается уже въ первой половинѣ XVII столѣтія.

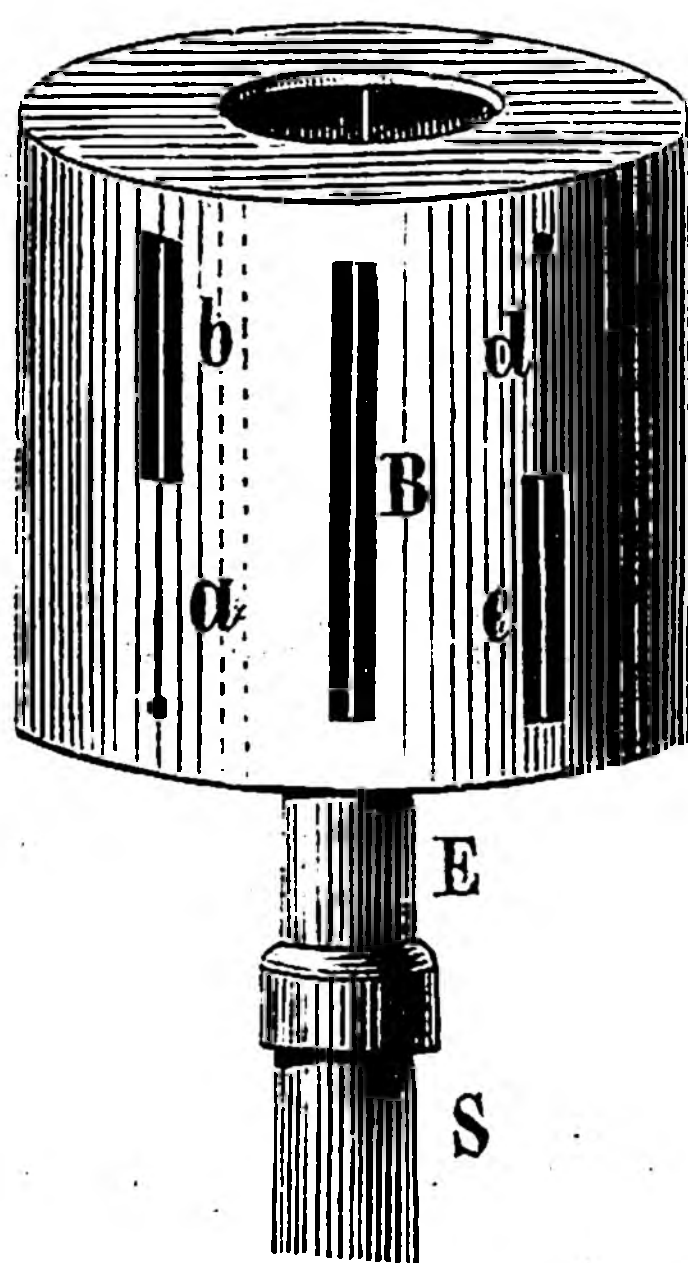


А (черт. 205), посрединѣ граней которой имѣются коллимаціонныя плоскости, при чемъ двѣ рядомъ лежащія плоскости образуютъ углы или въ  $45^\circ$ , или въ  $135^\circ$ . Экеры *цилиндрическій* (черт. 206) и *коническій* (черт. 207) отличаются отъ предыдущаго формою верхней своей части, которая у перваго есть цилиндръ, а у втораго — конусъ. Коническій экеръ, употребляющійся въ южной Германіи и Австріи, представляетъ

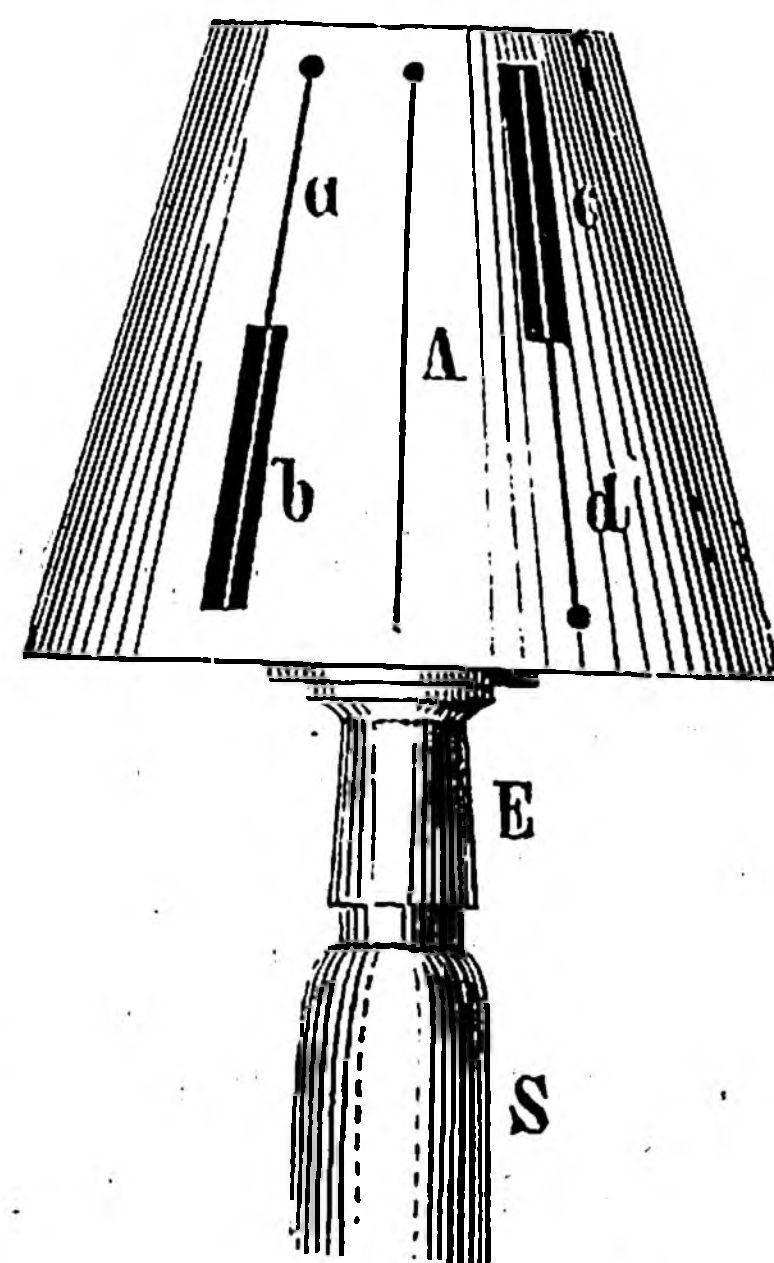
Черт. 205.



Черт. 206.



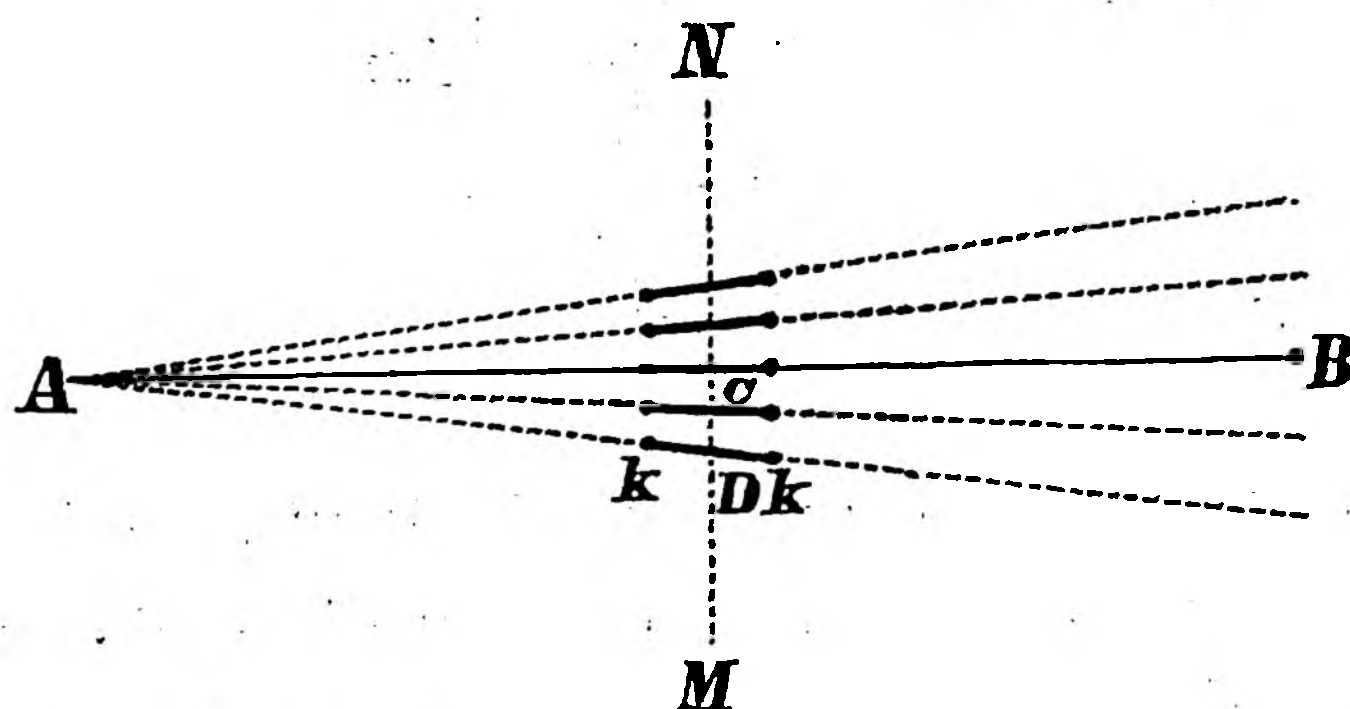
Черт. 207.



большія удобства въ странахъ гористыхъ, потому что даетъ болѣе наклонныя линіи визировація и легче, такъ какъ при однѣхъ и тѣхъ же основаніи и высотѣ цилиндръ требуетъ болѣе матеріала, чѣмъ конусъ.

Во всѣхъ этихъ экерахъ предметный діоптръ состоитъ или изъ широкаго прорѣза съ натянутымъ вдоль его волосомъ, или изъ такого же узкаго прорѣза, какъ и глазной діоптръ. Первое изъ этихъ устройствъ имѣетъ преимущество болѣе яснаго и удобнаго визировація, а второе, болѣе прочное, даетъ возможность визировать по двумъ противоположнымъ направлениамъ; вслѣдствіе чего съемщикъ можетъ безъ посторонней помощи найти на мѣстности точку, лежащую на линіи, соединяющей два данные пункта. Дѣйствительно, если *A* и *B* (черт. 208)

Черт. 208.

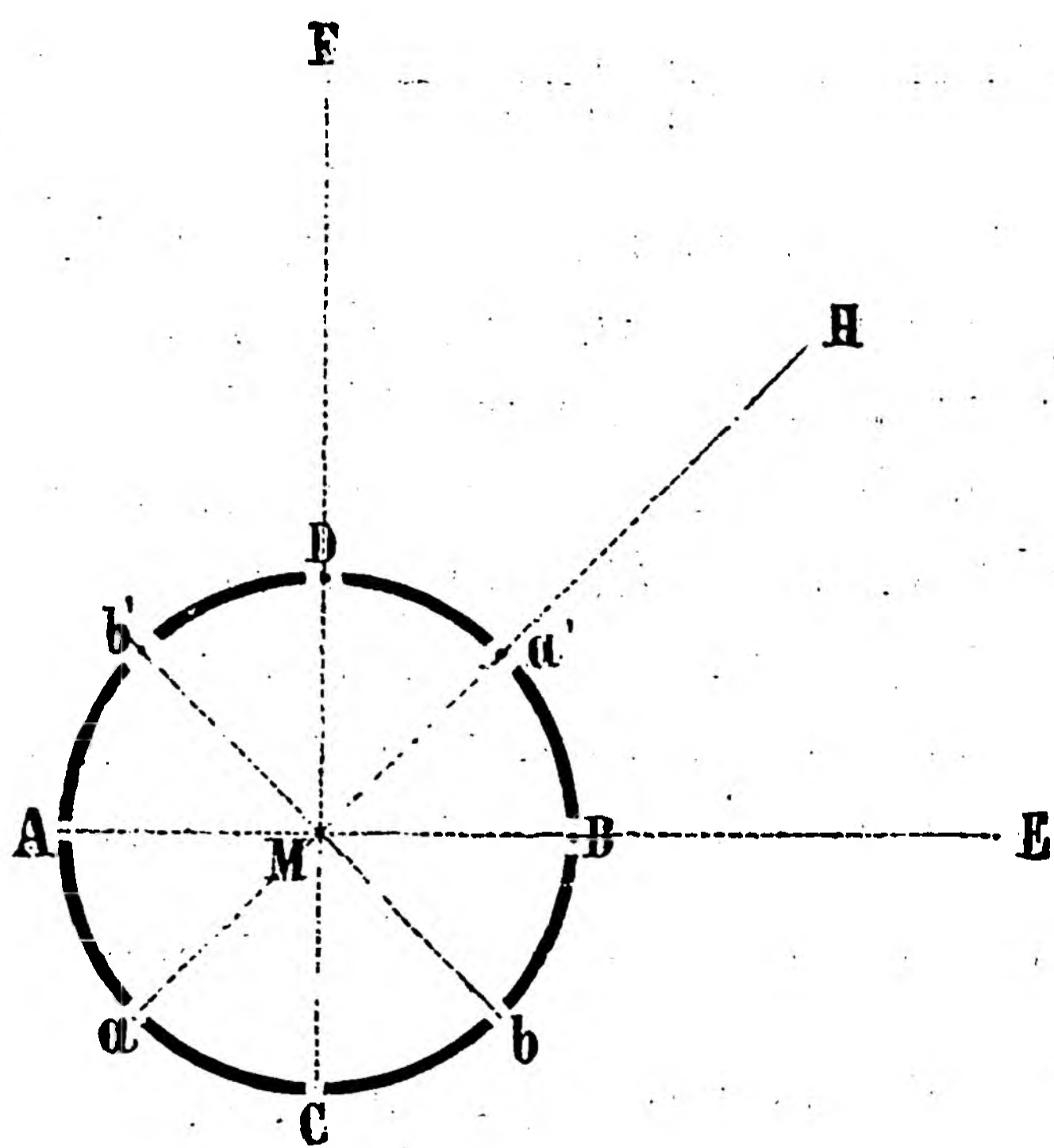


суть двѣ точки мѣстности, на которыхъ выставлены вѣхи, то поставивъ экеръ въ какую нибудь точку *D* направляютъ коллимаціонную плоскость *kk* на вѣху *A* и зайдя съ другой стороны экера и оставляя его неподвижнымъ смотрятъ, проходитъ ли та же коллимаціонная плоскость чрезъ вѣху *B*. Если нѣтъ, то съ экеромъ передвигаются

по направленію  $MN$  до тѣхъ поръ, пока это прохожденіе будетъ имѣть мѣсто. Очевидно, что полученная такимъ путемъ точка  $c$  будетъ лежать на линіи  $AB$ . Это свойство имѣетъ значеніе, какъ увидимъ ниже, при опущеніи экеромъ перпендикуляровъ на мѣстности, и хотя съемщикъ въ началѣ своей практики предпочтетъ широкій прорѣзъ и волосокъ предметнаго діоптра, тѣмъ не менѣе онъ вскорѣ перейдетъ къ узкимъ прорѣзамъ.

Условіе, требуемое отъ предыдущихъ экеровъ, состоитъ въ томъ, что *плоскости визирования должны быть между собою перпендикулярны или составлять другъ съ другомъ углы въ  $45^\circ$* . Повѣрка перпендикулярности плоскостей визирования производится слѣдующимъ образомъ: направляютъ діоптры  $A$  и  $B$  (черт. 209) на какую либо точку  $E$ , а по направленію діоптровъ  $C$  и  $D$  выставляютъ вѣху  $F$ ; затѣмъ поворачиваютъ экеръ на четверть оборота такъ, чтобы діоптры  $C$  и  $D$  были направлены на  $E$ . Если послѣ этого плоскость визирования  $AB$  будетъ проходить чрезъ  $F$ , то условіе выполнено. При этомъ предполагается, что оба діоптра  $A$  и  $B$  имѣютъ узкіе прорѣзы, позволяющіе визировать по противоположнымъ направленіямъ; если же предметный діоптръ состоитъ изъ широкаго прорѣза съ волосомъ, то послѣ оборота выставляютъ по направленію діоптровъ  $A$  и  $B$  вѣху и отойдя къ вѣхѣ  $F$  смотрятъ — лежатъ ли всѣ три вѣхи  $F$ ,  $M$  и вновь поставленная на одной прямой. Если да, то условіе выполнено. Такимъ же образомъ повѣряется и взаимная перпендикулярность плоскостей  $aa'$  и  $bb'$ . Чтобы

Черт. 209.



повѣрить — составляютъ ли плоскости визирования углы въ  $45^\circ$ , направляютъ  $AB$  на  $E$ , а по направленію  $aa'$  выставляютъ вѣху  $H$ ; послѣ того поворотивъ экеръ на восьмую долю оборота направляютъ  $aa'$  на  $E$ . Если условіе выполнено, то плоскость  $CD$  будетъ проходить чрезъ  $H$ . Точно также повѣряется и вѣрность положенія плоскости  $bb'$ .

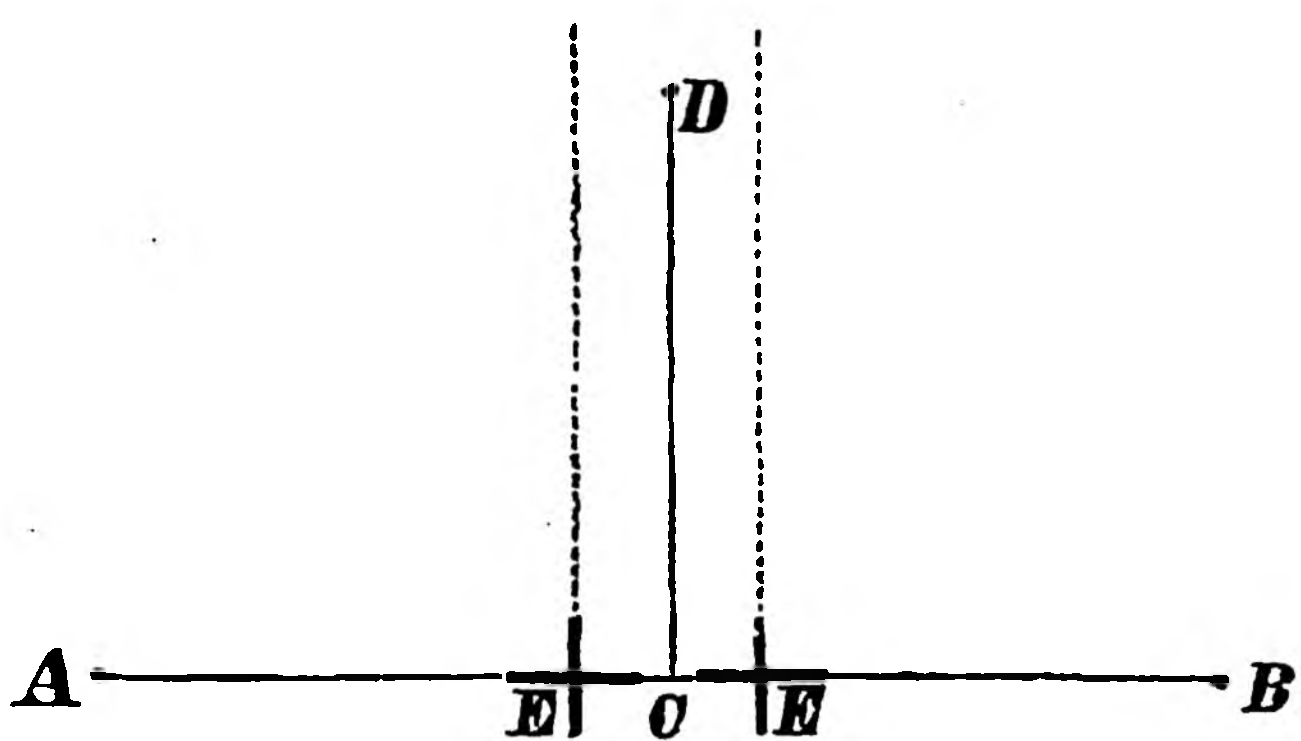
Иногда для возможности визирования по противоположнымъ направленіямъ вмѣсто одной коллимаціонной плоскости устраиваютъ двѣ, помѣщая одну надъ другою, какъ напр. плоскости, проходящія чрезъ  $a$  и  $b$  или  $c$  и  $d$  на чертежахъ 205, 206 и 207. Въ этомъ случаѣ необходимо передъ производствомъ повѣрокъ предыдущихъ условій удостовѣриться въ томъ, что *каждая пара коллимаціонныхъ плоскостей дѣйствительно взаимно совмѣщаются*. Для этого провѣшиваютъ на мѣстности линію  $ACB$  (черт. 210), вынимаютъ изъ  $C$  вѣху и на мѣсто ея ставятъ экеръ; направляютъ одну изъ испытуемыхъ плоскостей визи-

рованія на  $B$  и смотрятъ, проходитъ ли другая, парная съ нею, чрезъ  $A$ .

При невыполненіи въ экеръ какого-либо изъ предыдущихъ условій, исправленіе его поручается механику.

**§ 123.** Если экеръ вывѣренъ, то возстановленіе имъ и опущеніе перпендикуляровъ и назначеніе на мѣстности линіи, составляющей съ данною уголъ въ  $45^\circ$  или въ  $135^\circ$ , весьма просто; а именно положимъ, что къ прямой  $AB$  (черт. 210) требуется въ точкѣ  $C$  возстановить перпендикуляръ.

Черт. 210.



Ставятъ экеръ въ  $C$  такъ, чтобы плоскость инструмента была на глазъ горизонтальна; затѣмъ поворачиваютъ его на штативѣ, пока одна изъ коллимаціонныхъ плоскостей будетъ проходить чрезъ вѣху  $A$  или  $B$ ; наконецъ по указанію съемщика рабочимъ выставляется вѣха  $D$  по направленію перпендикулярной коллимаціонной плоскости. Очевидно, что линія

$DC$ , проходящая чрезъ данную точку  $C$ , есть перпендикуляръ къ  $AB$ .

Опустить изъ данной точки  $D$  перпендикуляръ на данную линію  $AB$  значитъ найти на этой линіи подошву  $C$  перпендикуляра  $DC$ . Для совершенія этого на мѣстности становятся экеръ на линію  $AB$  въ какую нибудь точку  $E$ , которая *повидимому* служитъ искомою подошвою перпендикуляра, направляютъ одну изъ коллимаціонныхъ плоскостей на  $A$  или  $B$  и смотрятъ, что проходитъ ли другая коллимаціонная плоскость, перпендикулярная къ первой, чрезъ данную точку  $D$ . Если нѣтъ и если при томъ точка  $D$  помѣщается <sup>вправо</sup> <sub>влѣво</sub> отъ этой второй коллима-

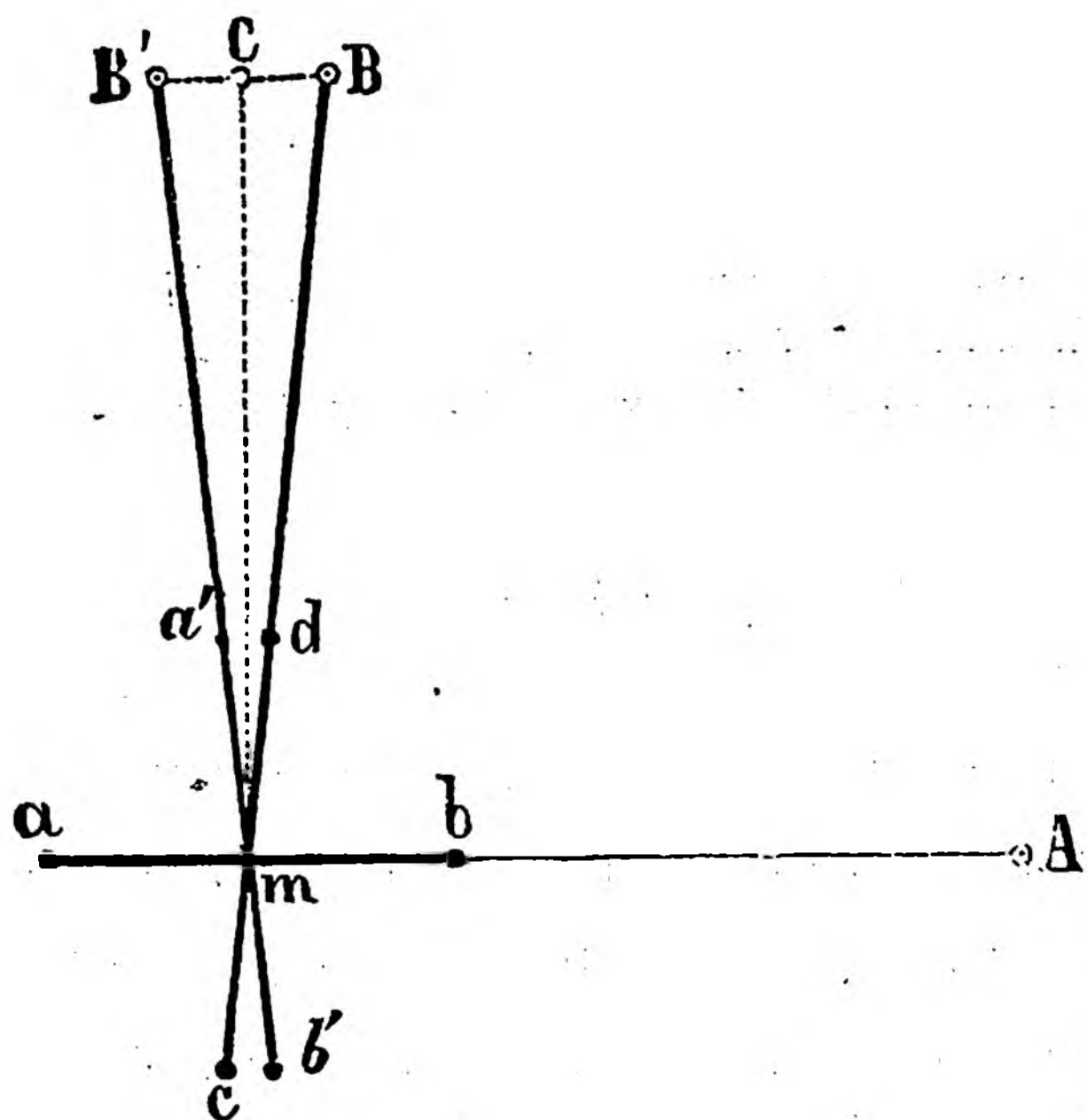
ціонной плоскости, то экеръ передвигаютъ по линіи  $AB$  также <sup>вправо</sup> <sub>влѣво</sub>.

Дѣйствіе это повторяется до тѣхъ поръ, пока одна коллимаціонная плоскость будетъ проходить чрезъ  $A$  или  $B$ , а другая, перпендикулярная къ первой, проходитъ чрезъ  $D$ . Найденная такимъ образомъ точка  $C$  есть искомая подошва перпендикуляра. При рѣшеніи этой задачи требуется, какъ видно изъ предыдущаго, чтобы во все время отыскиванія перпендикуляра экеръ находился на линіи  $AB$ ; а въ этомъ можно убѣдиться безъ посторонней помощи только въ томъ случаѣ, когда діоптры экера даютъ возможность визировать по противоположнымъ направлениамъ; если же предметный діоптръ состоитъ изъ широкаго прорѣза съ волосомъ, то другой съемщикъ, стоящій въ  $A$  или  $B$ , долженъ направлять палку экера на линію  $AB$ .

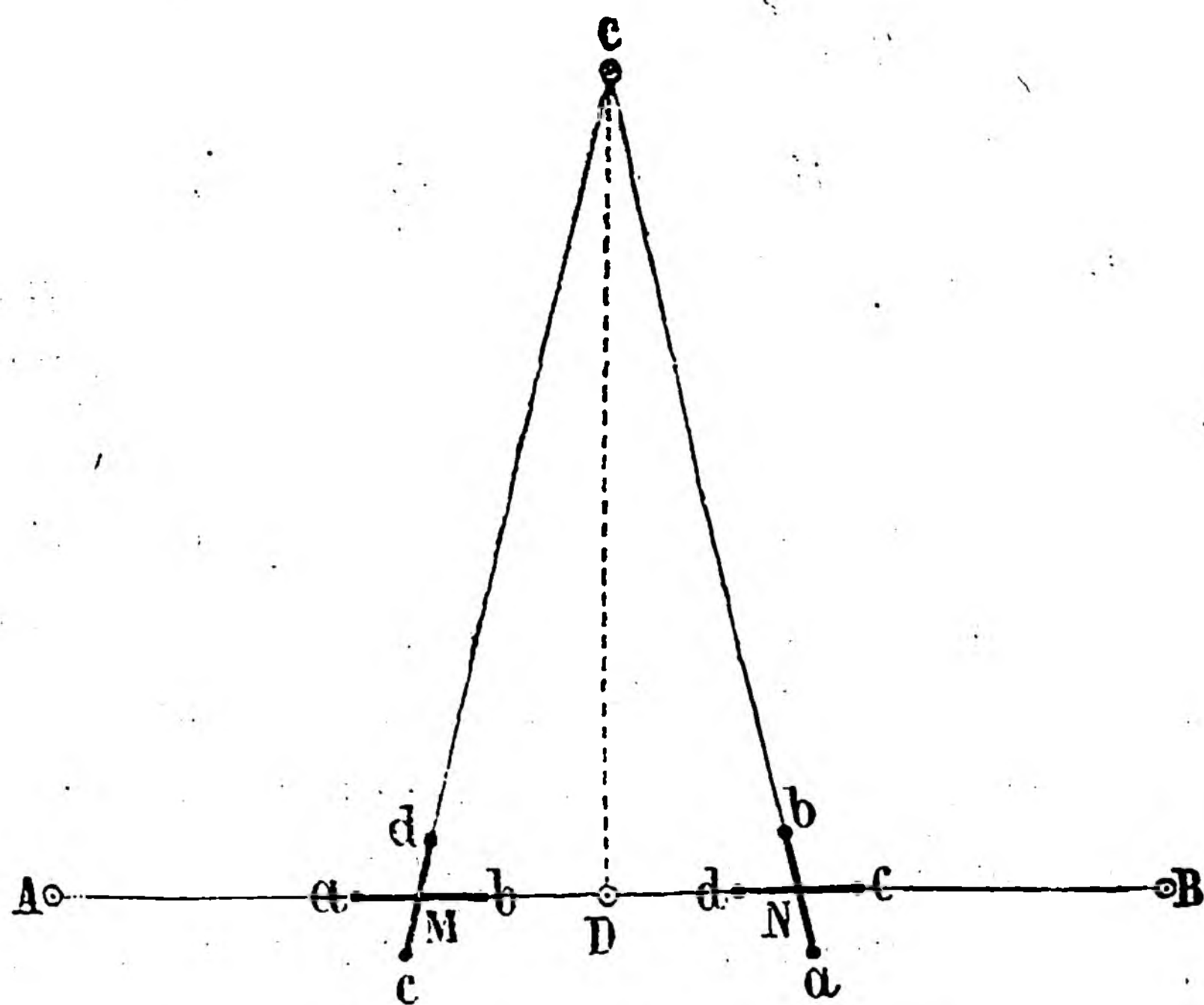
Употребляя подобнымъ же образомъ діоптры экера, коллимаціонныя плоскости которыхъ составляютъ между собою уголъ въ  $45^\circ$  или  $135^\circ$ , можно назначить на мѣстности линію, проходящую чрезъ данную точку и составляющую съ данною линіею уголъ въ  $45^\circ$  или въ  $135^\circ$ .

Проведеніе на мѣстности перпендикуляра къ данной линіи возможно и въ случаѣ невѣрнаго экера, т. е. когда коллимаціонныя плоскости *не* перпендикулярны другъ къ другу, но дѣйствія при этомъ будутъ гораздо сложнѣе. Въ самомъ дѣлѣ, если къ линіи *mA* (черт. 211) требуется возставить въ точкѣ *m* перпендикуляръ невѣрнымъ экеромъ, то направляютъ коллимаціонную плоскость *ab* на *A*, а по направленію коллимаціонной плоскости *cd* выставляютъ вѣху *B*; затѣмъ поворачиваютъ экеръ на палкѣ такъ, чтобы плоскость *cd* была направлена на *A* и по направленію плоскости *ab*, которая займетъ теперь положеніе

Черт. 211.



Черт. 212.



*a'b'* выставляютъ вѣху. Если послѣ этого измѣривъ длину *mB*, отложить ее по направленію *b'a'* до *B'* и назначить точку *C* на срединѣ линіи *BB'*, то *Cm* будетъ перпендикулярна къ *mA*, ибо по равенству треугольниковъ *B'mC* и *BmC* уголъ *a'mC* = углу *d'mC*, кромѣ того равны между собою и углы *bmd* и *a'ma*; вслѣдствіе чего

$$bmd + d'mC = a'ma + a'mC$$

или

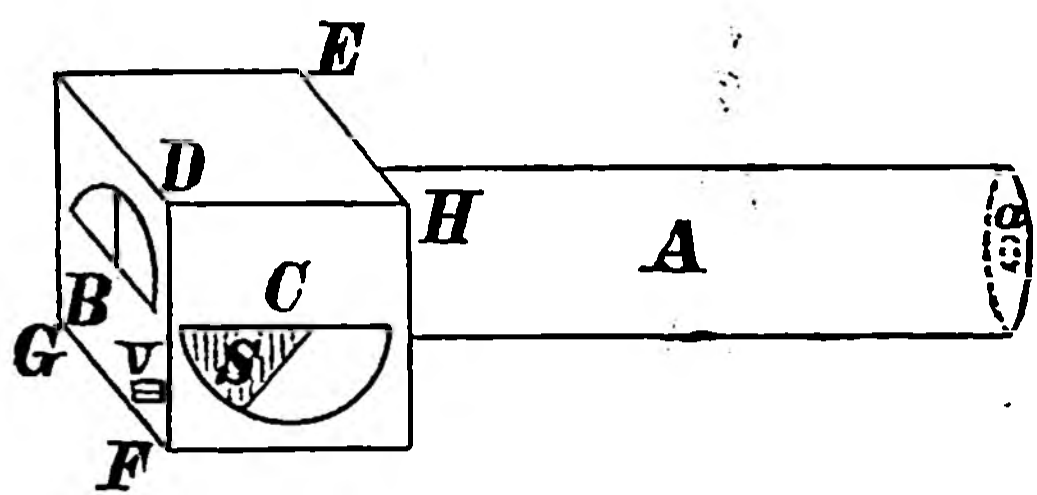
$$\text{уг. } Cmb = \text{уг. } Cma,$$

т. е. они прямые. Если надо изъ точки *C* (черт. 212) опустить перпендикуляръ невѣрнымъ экеромъ на данную линію *AB*, то отыскавъ сначала на этой послѣдней точку *M*, въ которой при направленіи одной коллимаціонной плоскости на *B*, другая проходитъ чрезъ *C*, поворачиваютъ экеръ на палкѣ на четверть оборота и находятъ точку *N*, въ которой при прохожденіи одной коллимаціонной плоскости чрезъ *A*, другая проходитъ чрезъ *C*. Затѣмъ раздѣливъ *MN* пополамъ въ точкѣ *D*, линія *CD* будетъ перпендикулярна къ *AB*, ибо изъ равенства треугольниковъ *MCD* и *NCD* заключаемъ о равенствѣ угловъ *ADC* и *BDC*.

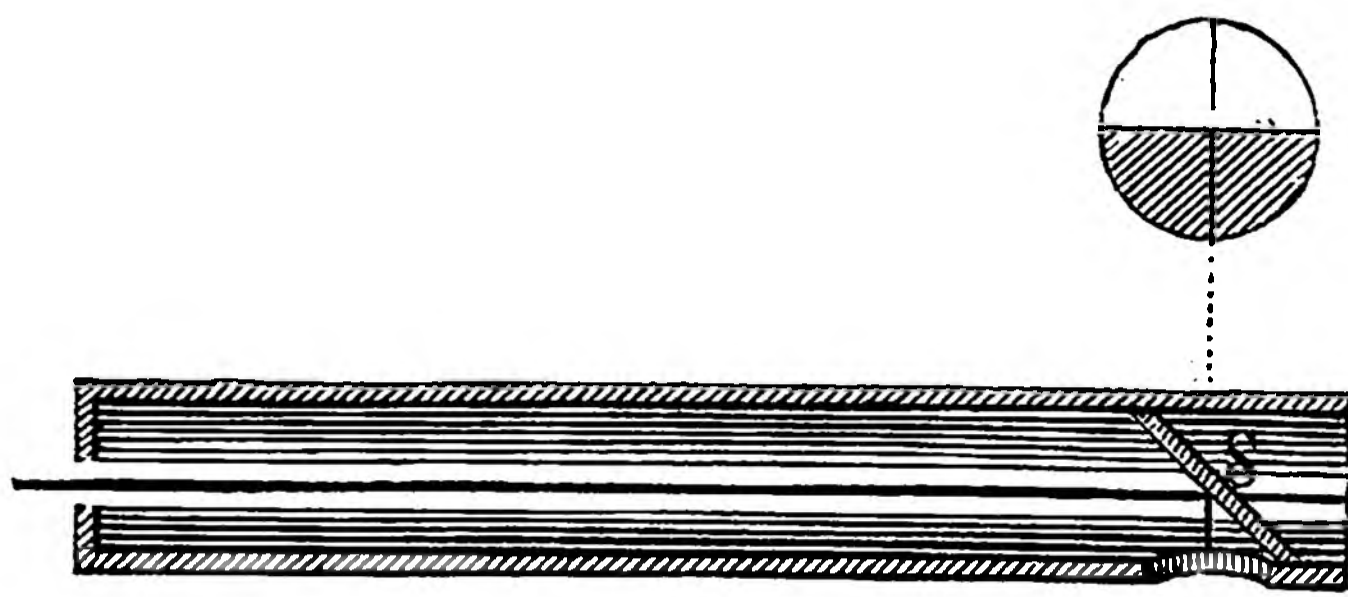
§ 124. Въ зеркальномъ экерѣ помѣщаются зеркала, и по числу ихъ экеръ называется однозеркальнымъ, двузеркальнымъ или трехзеркальнымъ.

Однозеркальный экеръ, устроенный Винклеромъ\*), состоитъ изъ мѣднаго кубика (черт. 213), въ трехъ граняхъ котораго сдѣланы отверстія: въ одно, круглое, ввинчена пустая цилиндрическая трубка  $A$ , закрытая съ наружной стороны крышкой, въ срединѣ которой сдѣлана кругленькая скважина  $a$  для визировація; въ верхней половинѣ противоположной грани  $GDF$  имѣется полукруглое отверстіе  $B$  съ волосомъ посрединѣ; наконецъ, третье отверстіе  $C$ , тоже полукруглое, сдѣлано въ нижней части грани  $DFH$ . По діагональной плоскости  $FDE$  кубика, въ нижней ея половинѣ, помѣщено зеркало  $S$ , обращенное лицевою своею стороною

Черт. 213.



Черт. 214.



къ отверстию  $C$  и къ трубкѣ  $A$ . Линією визировація служитъ геометрическая ось трубки  $A$ , проходящая вмѣстѣ съ тѣмъ и чрезъ волосъ отверстія  $B$ . У ребра  $E$  зеркало можетъ поворачиваться на шарнирѣ и измѣнять, слѣдов., уголъ, составляемый его плоскостью съ геометрическою осью трубки  $A$ . Это измѣненіе производится поворачиваніемъ винта  $v$  посредствомъ ключа. Если смотрѣть въ  $a$ , то вслѣдствіе указаннаго расположенія отверстій  $B$ ,  $C$  и зеркала  $S$ , можно видѣть: во-первыхъ въ отверстіи  $B$  поверхность зеркала предмета, находящійся предъ наблюдателемъ, и во-вторыхъ въ отверстіи  $C$  предметъ, находящійся сбоку, ибо лучи отъ этого предмета, упавшіе на зеркало  $S$ , будутъ отражены имъ по направленію къ глазу наблюдателя. Иногда однозеркальному экеру сообщается иной видъ, при чемъ зеркало  $S$  вставляется въ самую трубку и верхняя половина его, освобожденная отъ амальгамы, имѣетъ посрединѣ черту, замѣняющую волосъ (черт. 214).

Теорія однозеркальнаго экера такова: пусть  $N$  (черт. 215) есть глазъ наблюдателя и пусть ниже пути слѣдованія луча зрѣнія къ предмету  $M$  помѣщено зеркало  $SS$ ; тогда глазъ увидитъ одновременно какъ предметъ  $M$ , такъ и предметъ  $O$ , при чемъ если лучъ  $PN$ , идущій отъ этого послѣдняго предмета и отраженный отъ зеркала, будетъ въ одной вертикальной плоскости съ направленіемъ на  $M$ , то предметъ  $M$  будетъ казаться въ зеркалѣ продолженіемъ предмета  $O$ . Обозначивъ уголъ, составляемый геометрическою осью трубы съ плоскостью зеркала, чрезъ  $\alpha$ , а уголъ между тою же осью и перпендикуляромъ  $PP$ , къ зеркалу или, все равно, уголъ паденія луча  $OP$  чрезъ  $i$ , имѣемъ

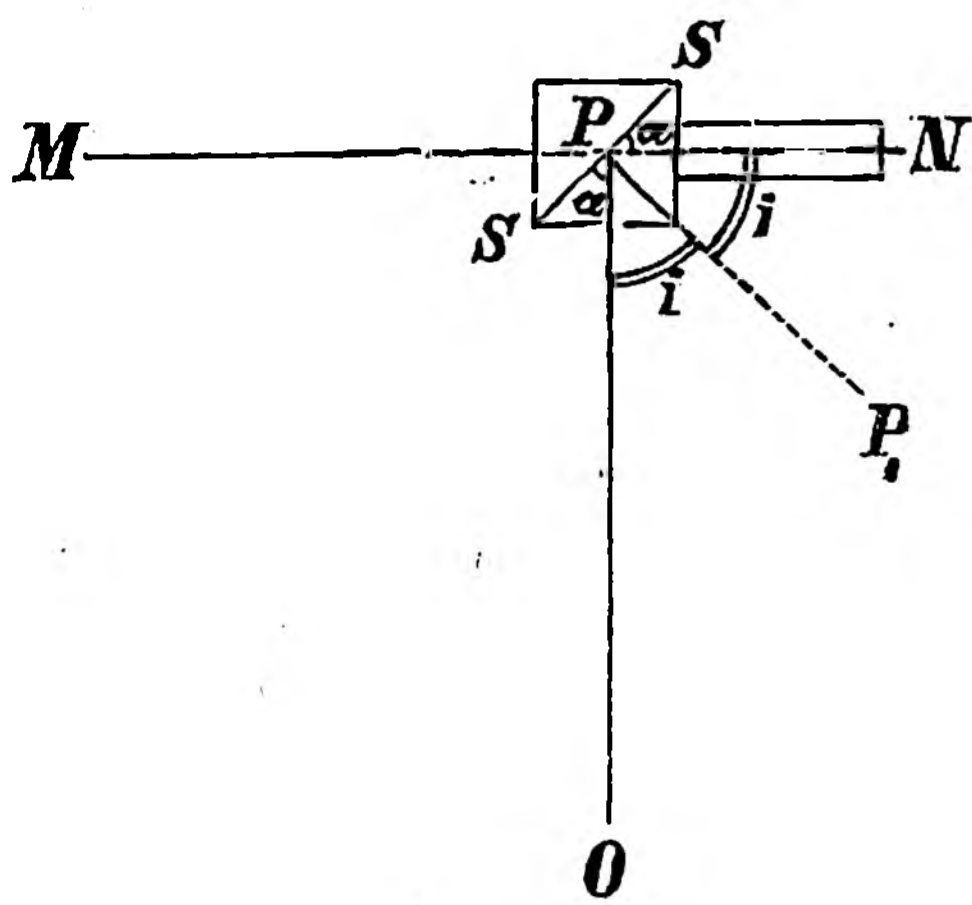
$$2i + 2\alpha = 180^\circ.$$

\*) Бывшій профессоръ математики въ Маріабрунѣ, близъ Вѣны. Этотъ экеръ, изобрѣтенный въ 1809 году, употребляется преимущественно въ Австріи.

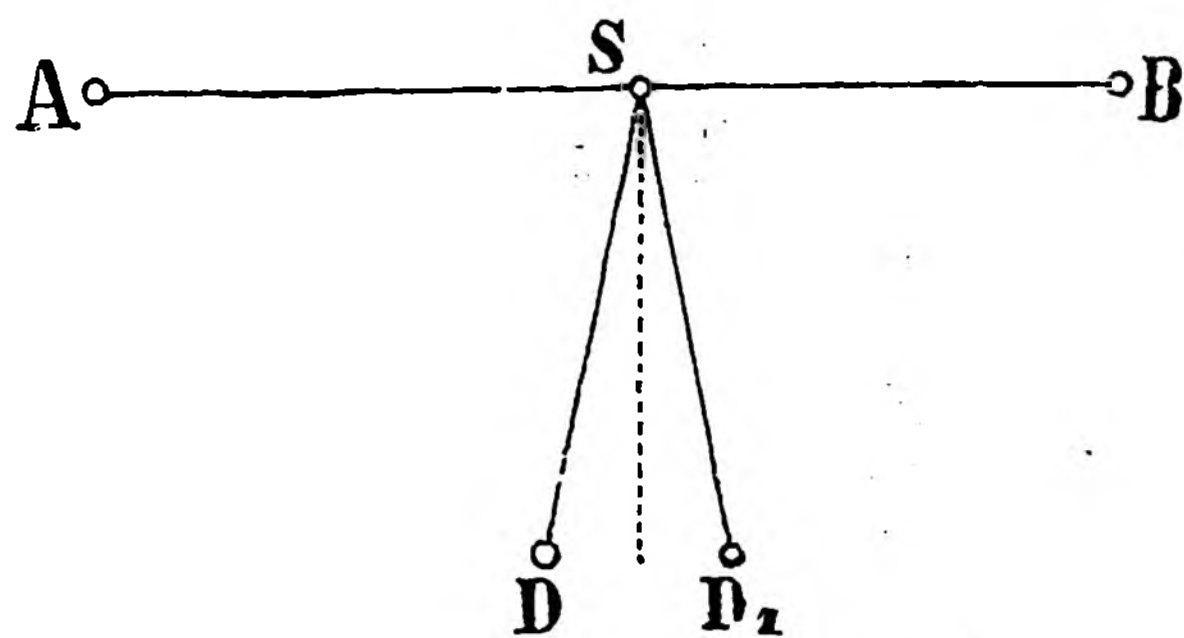
Если  $\alpha = 45^\circ$ , т. е. зеркало помещено въ кубикѣ такъ, что плоскость его составляетъ съ линіею визировація уголъ въ  $45^\circ$ , то  $2\alpha = 90^\circ$ , и тогда  $2i = 90^\circ$ . Слѣд. въ томъ случаѣ когда  $\alpha = 45^\circ$  лучъ, идущій отъ предмета  $O$  и отраженный по направленію  $PN$ , составляетъ съ линіею визировація уголъ въ  $90^\circ$ .

На этомъ основано употребленіе однозеркальнаго экера съ цѣлью проведенія имъ перпендикуляровъ къ линіямъ мѣстности. Чтобы возстановить перпендикуляръ къ линіи  $MN$  въ точкѣ  $P$  обращаютъ отверстие  $C$  (черт. 213) въ ту сторону, куда долженъ быть направлень перпендикуляръ и держатъ экеръ въ рукѣ такъ, чтобы плоскость зеркала была отвѣсна и чтобы середина его находилась надъ точкою  $P$ ; затѣмъ направляютъ волосъ отверстія  $B$  на вѣху  $M$  (черт. 215) и въ сторону перпендикуляра посылаютъ рабочаго съ вѣхою, которую передвигаютъ вправо или влево до тѣхъ поръ, пока отраженное отъ зеркала  $S$  изображеніе этой вѣхи будетъ казаться продолженіемъ вѣхи  $M$ , покрываемой волосомъ отверстія. Опущеніе перпендикуляра

Черт. 215.



Черт. 216.



изъ точки  $O$  на линію  $MN$  отличается отъ предыдущаго тѣмъ, что при этомъ передвигается самъ съемщикъ съ экеромъ по линіи  $MN$  настолько, чтобы отраженіе отъ зеркала вѣхи  $O$  было продолженіемъ непосредственно видимой вѣхи  $M$ . Точка  $P$  на мѣстности, находящаяся подъ серединою зеркала, есть подошва искомаго перпендикуляра.

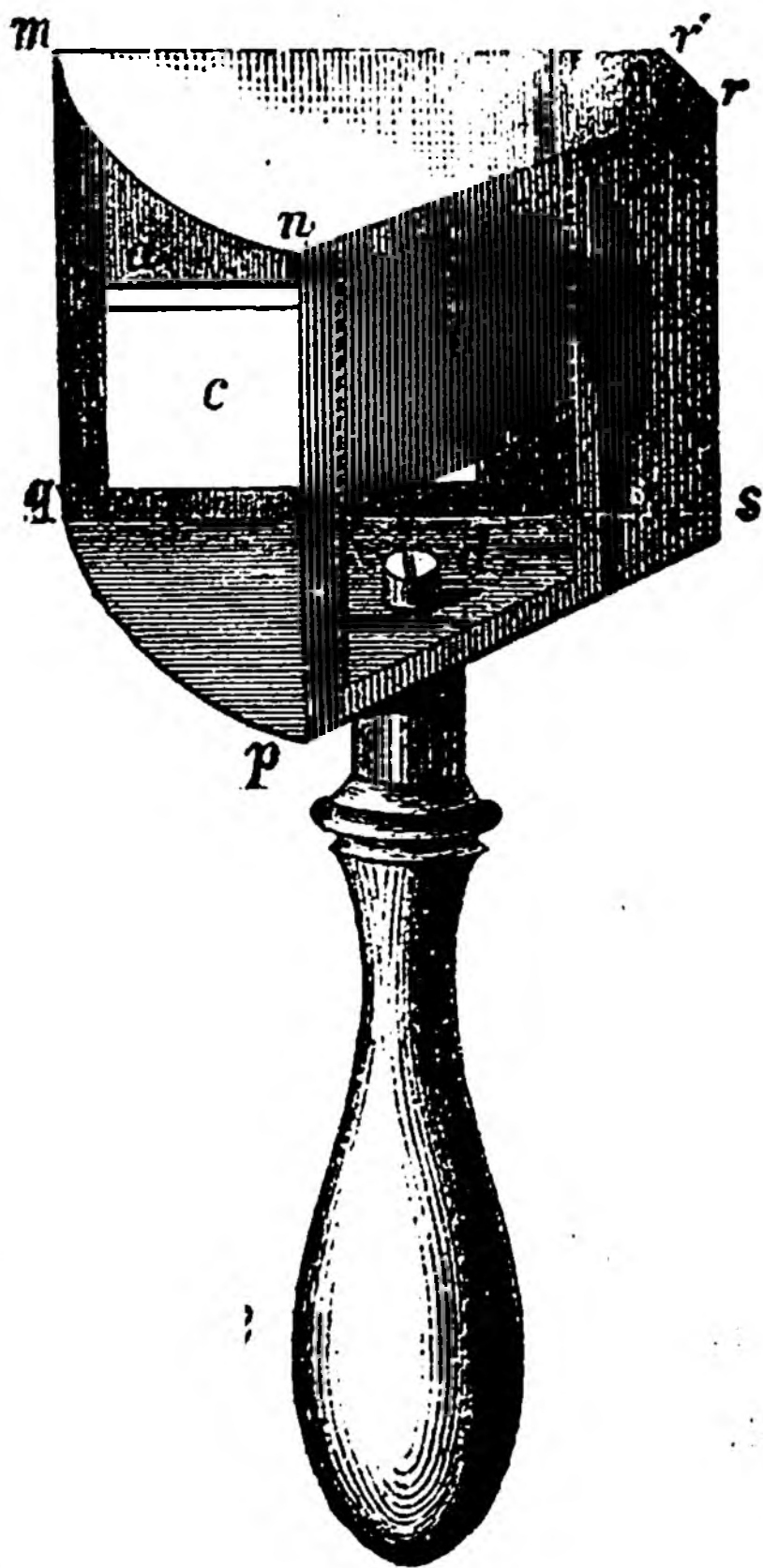
Изъ теоріи видно, что во время употребленія нужно держать экеръ твердо, такъ какъ при сотрясеніи руки зеркало  $SS$  будетъ измѣнять свое положеніе относительно линіи  $MN$  и изображеніе предмета  $O$  уже не будетъ совпадать съ вѣхою  $M$ , которая сойдетъ съ волоса.

Условіе, требуемое отъ этого экера и состоящее въ томъ, что *передняя плоскость зеркала должна составлять съ линіею визировація уголъ въ  $45^\circ$* , повѣряется такъ: становятся съ экеромъ въ точку  $S$  (черт. 216) на линіи  $AB$  и направивъ волосъ на вѣху  $A$  выставляютъ вѣху  $D$ ; послѣ того повернувшись съ экеромъ къ точкѣ  $B$ , направляютъ на нее волосъ и смотрятъ — составляетъ ли отраженное изображеніе вѣхи  $D$  продолженіе непосредственно видимой вѣхи  $B$ . Если да, то требуемое условіе въ экерѣ выполнено; если же нѣтъ, то выставляютъ новую вѣху  $D_1$ , отраженное изображеніе которой есть продолженіе вѣхи  $B$  и отмѣриваютъ по направленію къ ней длину, равную длинѣ  $SD$ .

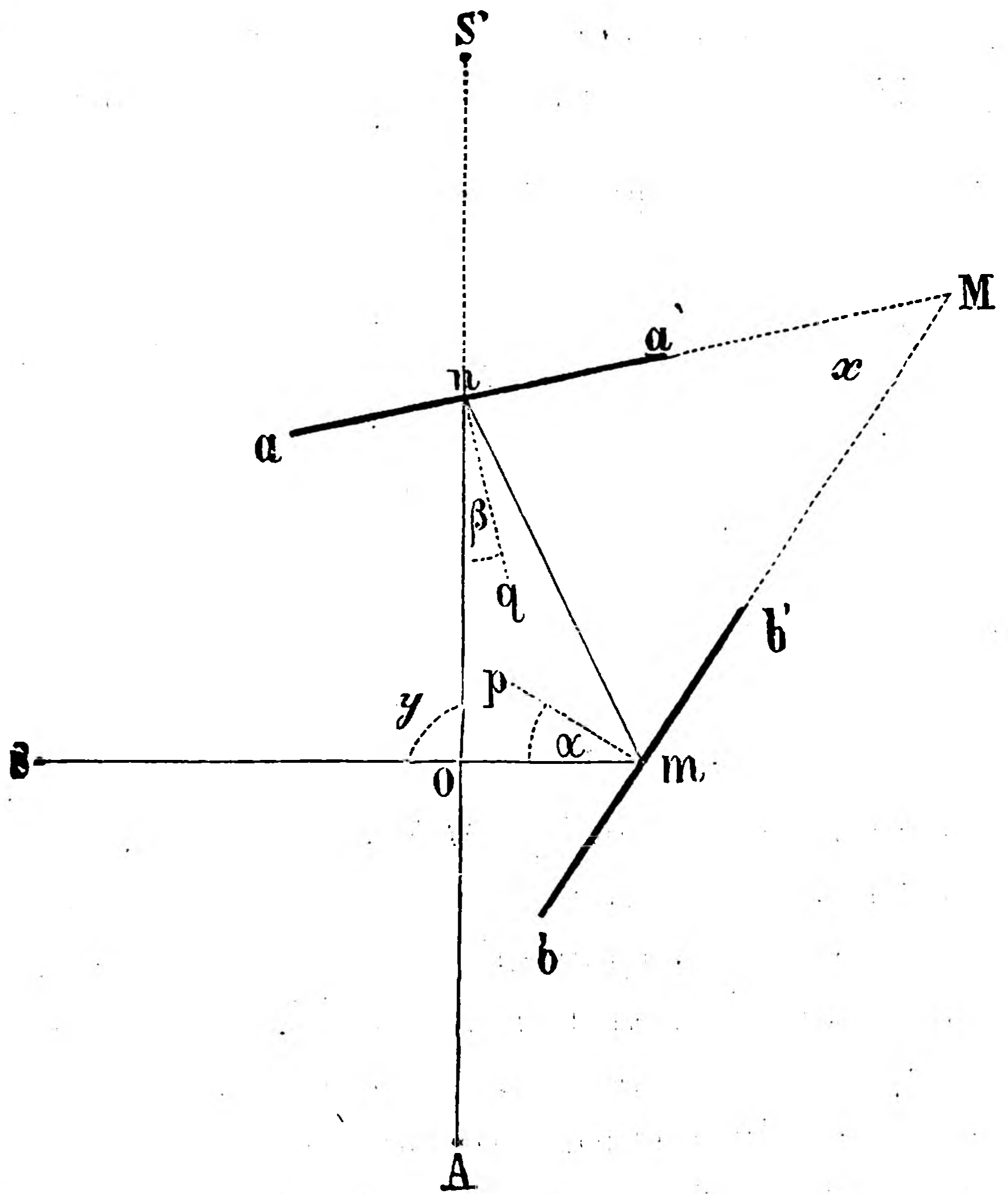
Раздѣливъ  $DD_1$  пополамъ, получить на ней точку, которая опредѣлитъ направленіе перпендикуляра. Для исправленія положенія зеркала вращаютъ винтикъ  $v$  (черт. 213).

Двузеркальный экеръ, устроенный Адамсомъ\*), состоитъ изъ двухъ зеркалъ  $a$  и  $b$  (черт. 217), оправы которыхъ прикрѣплены къ внутреннимъ сторонамъ боковыхъ стѣнокъ коробки  $mnr'rspq$ . Уголъ между этими зеркалами долженъ быть равенъ  $45^\circ$ , что можетъ быть выполнено посредствомъ исправительныхъ винтовъ, проходящихъ чрезъ боковыя стѣнки коробки и чрезъ оправы зеркалъ. Въ боковыхъ стѣнкахъ подъ зеркалами сдѣланы четырехугольные вырѣзы  $c$  и  $d$ . Къ дну коробки привинчена рукоятка  $e$ , къ крючку которой прикрѣпляется отвѣсъ.

Черт. 217.



Черт. 218.



Теорія, на которой основано употребленіе этого экера, слѣдующая: пусть  $aa'$  и  $bb'$  (черт. 218) два зеркала, продолженные плоскости которыхъ встрѣчаются подъ угломъ  $x$ . Если  $Sm$  есть лучъ, идущій отъ предмета  $S$  и образующій съ зеркаломъ  $bb'$  уголъ паденія  $\alpha$ , то по отраженіи своемъ онъ упадетъ на зеркало  $aa'$  подъ угломъ паденія  $\beta$  и отразившись отъ этого послѣдняго зеркала составитъ съ первоначальнымъ своимъ направленіемъ уголъ  $y$ . Изъ треугольника  $nMt$  имѣемъ:

$$x = 90^\circ + \alpha - (90^\circ - \beta) = \alpha + \beta,$$

\*) Этотъ экеръ изобрѣтенъ во второй половинѣ XVIII столѣтія.

а изъ треугольника *пто* имѣемъ:

$$y = 2\alpha + 2\beta = 2(\alpha + \beta).$$

А потому

$$y = 2x,$$

т. е. лучъ, дважды отраженный отъ двухъ плоскихъ зеркалъ, составляетъ съ первоначальнымъ своимъ направлениемъ уголъ вдвое больший угла между зеркалами. Вслѣдствіе этого если уголъ *x* будетъ сдѣланъ равнымъ  $45^\circ$ , то *y* равенъ  $90^\circ$ ; такимъ снарядомъ можно будетъ пользоваться для возстановленія и опущенія перпендикуляровъ на мѣстности.

Чтобы къ данной линіи *AS'* возставить въ точкѣ *O* перпендикуляръ, держать экеръ надъ этою точкою и, смотря въ открытую часть *тпrq* (черт. 217) чрезъ прорѣзь *c* на вѣху *S'* (черт. 218), заставляють рабочаго при вѣхѣ *S* передвигаться до тѣхъ поръ, пока изображеніе этой вѣхи, дважды отраженное, будетъ составлять продолженіе вѣхи *S'*, видимой непосредственно. Для опущенія перпендикуляра изъ точки *S* на линію *AS'* съемщикъ, смотря въ то же мѣсто экера, какъ и прежде, передвигается по данной линіи, пока изображеніе вѣхи *S* будетъ продолженіемъ вѣхи *S'*.

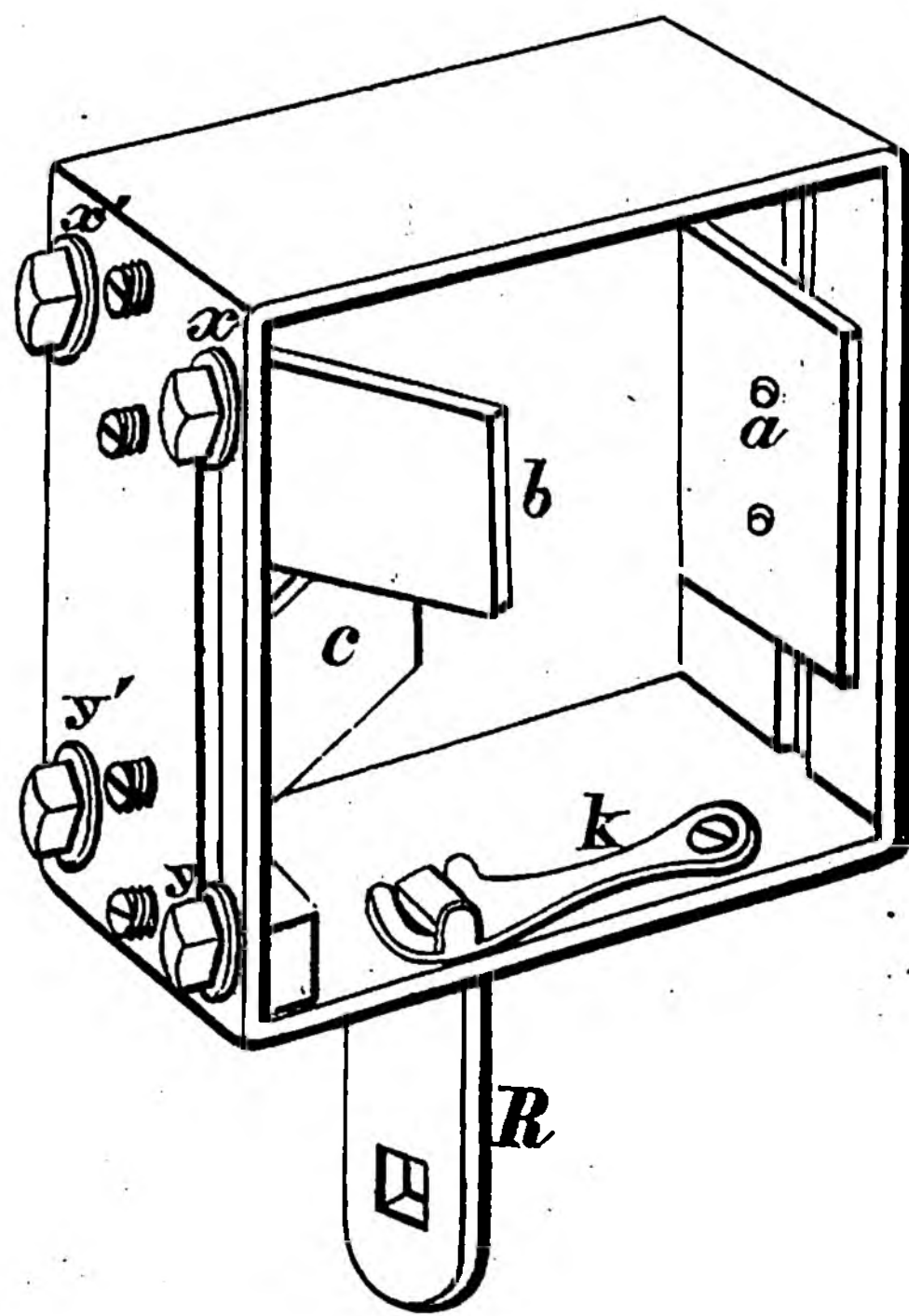
Такъ какъ направленіе дважды отраженнаго луча *nA* относительно первоначальнаго направленія *Sm*, постоянно то, при всякомъ сотрясеніи руки лучъ *nA* будетъ совпадать съ направлениемъ *AS'*, а слѣдов. это сотрясеніе не помѣшаетъ возстановленію и опущенію перпендикуляра. Это и служитъ преимуществомъ экера двузеркальнаго передъ однозеркальнымъ.

Условіе, требуемое отъ двузеркальнаго экера, повѣряется такъ же, какъ и въ экерѣ однозеркальномъ; при чемъ исправленіе взаимнаго положенія зеркалъ въ случаѣ невѣрности экера производится, какъ уже сказано, исправительными винтами зеркалъ.

*Трехзеркальный экеръ.* При опущеніи перпендикуляровъ изъ данной точки на линію мѣстности посредствомъ одно-

Черт. 219.

и двузеркальнаго экера необходимо держать съемщика, дѣйствующаго экеромъ, на данной линіи. Это представляетъ то важное неудобство, что требуетъ присутствія на одной изъ конечныхъ точекъ данной линіи лишняго человѣка. Для устраненія этого неудобства французскій геометръ *Кутюро* предложилъ въ послѣднее время зеркальный экеръ, состоящій изъ трехъ зеркалъ: *a*, *b*, *c* (черт. 219); изъ нихъ *b* и *c* поставлены относительно другъ друга подъ прямымъ угломъ, одно подъ другимъ, а третье зеркало составляетъ съ *b* и *c* углы въ  $45^\circ$ . (Зеркала *a* и *c* обращены на чертежѣ къ зрителю лицевою стороною, а зеркало *b* — заднею). Всѣ три зеркала помѣщаются въ мѣдной четырехгранной

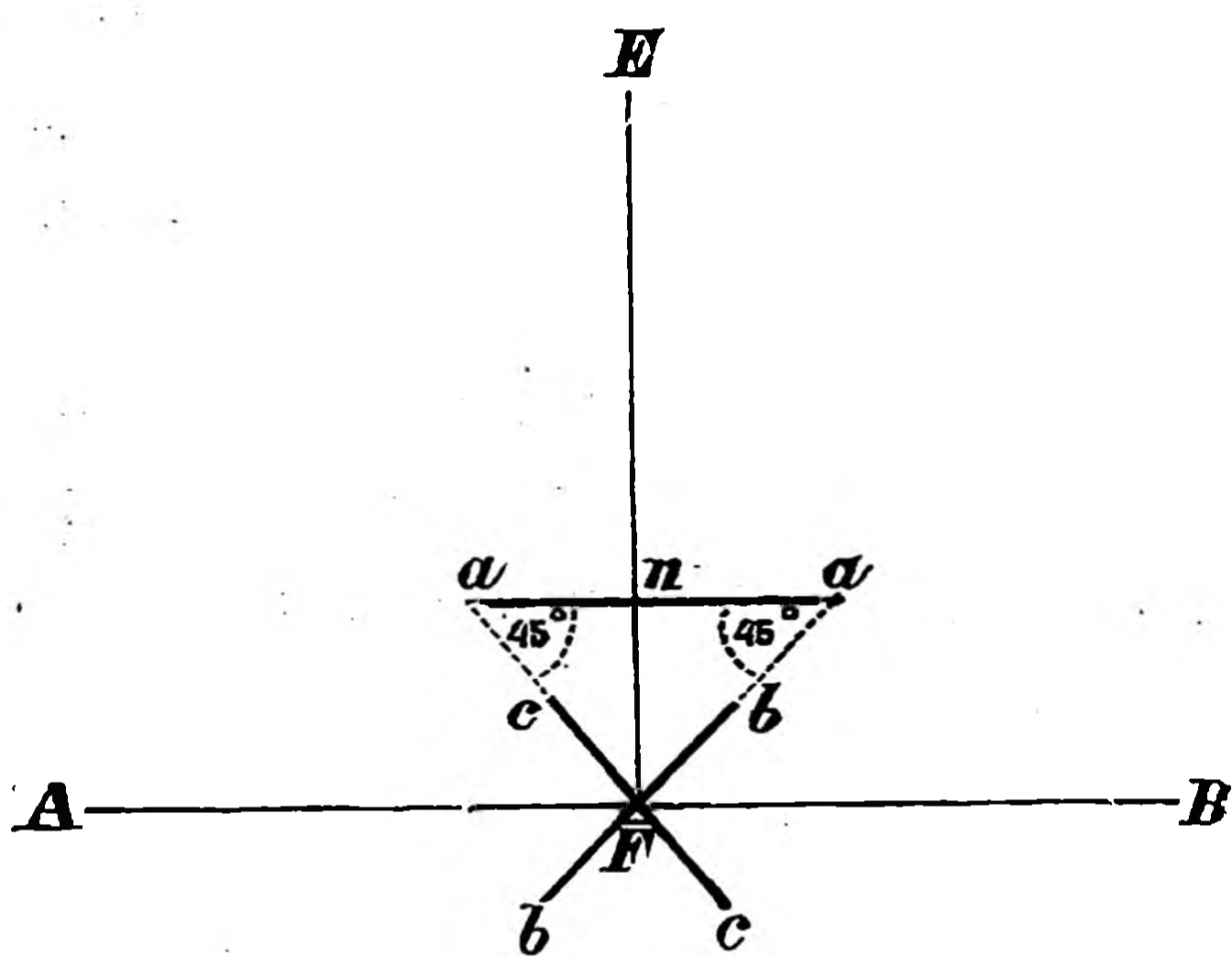




оправѣ, сбоку которой между винтами  $x$  и  $y$  сдѣланъ глазной прорѣзъ, а на противоположной стѣнкѣ часть предметнаго прорѣза закрыта зеркаломъ  $a$  съ двумя кругленькими въ немъ отверстіями; плоскость визировація опредѣляется срединами глазнаго и предметнаго прорѣзовъ. Снизу оправы имѣется рукоятка  $R$ , вставленная въ особое отверстіе и укрѣпленная крючкомъ  $k$ .

Теорія этого экера состоитъ въ томъ, что если встать въ точку  $F$  на линію  $AB$  (черт. 220) и держа экеръ за рукоятку визировать чрезъ глазной прорѣзъ въ перпендикулярномъ направленіи, то въ зеркалѣ  $aa$  увидимъ изображенія вѣхъ  $A$  и  $B$ , которыя будутъ служить другъ другу продолженіемъ. Это потому, что лучъ  $AF$ , идущій отъ вѣхи  $A$ , будучи отраженъ отъ зеркалъ  $bb$  и  $aa$ , поступитъ въ глазъ по направленію  $nF$ , составляя съ  $AF$  уголъ въ  $90^\circ$ , такъ какъ уголъ между зеркалами  $bb$

Черт. 220.



и  $aa$  равенъ  $45^\circ$ , а лучъ, дважды отраженный отъ двухъ плоскихъ зеркалъ, составляетъ, какъ доказано въ двузеркальномъ экерѣ, съ первоначальнымъ своимъ направленіемъ уголъ вдвое большій угла между зеркалами. По тому же направленію  $Fn$  будетъ видно и изображеніе вѣхи  $B$ , отраженное отъ зеркалъ  $cc$  и  $aa$ , ибо эти зеркала составляютъ между собою уголъ также въ  $45^\circ$ . На основаніи этого возможно обратное

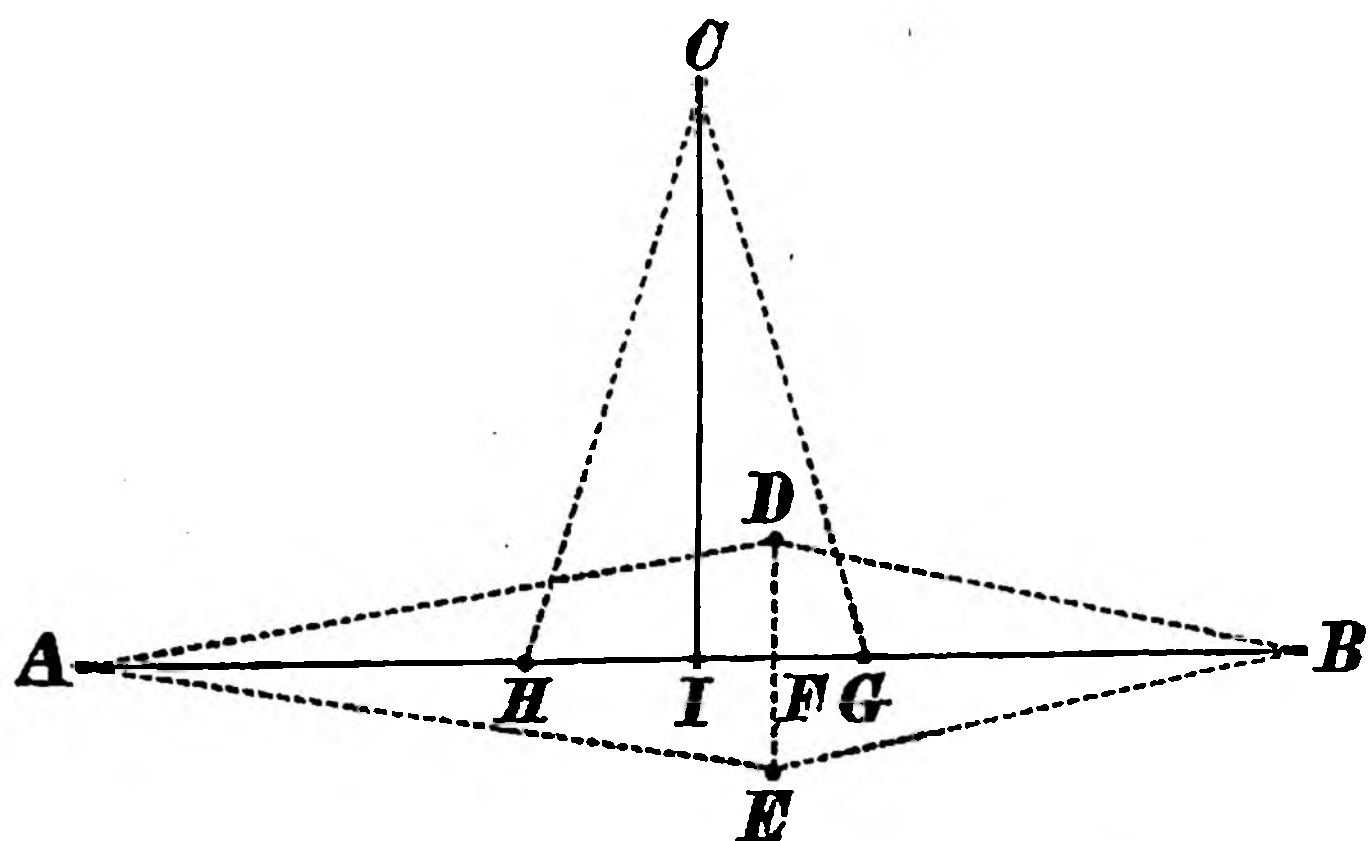
заключеніе, во первыхъ, что точка  $F$ , въ которой изображенія въ зеркалѣ  $aa$  вѣхъ  $A$  и  $B$  служатъ другъ другу продолженіемъ, лежитъ на линіи  $AB$  и во вторыхъ, если выставить по продолженію луча  $Fn$  вѣху  $E$ , то  $FE$  будетъ перпендикулярна къ  $AB$ .

Вслѣдствіе этого употребленіе экера Кутюро при проведеніи на мѣстности перпендикуляровъ къ данной линіи таково: сначала находятъ на мѣстности точку  $F$ , лежащую на данной линіи  $AB$ , что достигается тѣмъ, что обратившись лицомъ съ экеромъ въ рукѣ къ линіи  $AB$ , смотрятъ въ глазной прорѣзъ его и передвигаются впередъ и назадъ до тѣхъ поръ пока изображенія вѣхъ  $A$  и  $B$  въ зеркалѣ  $aa$  будутъ служить другъ другу продолженіемъ; затѣмъ при *возстановленіи* перпендикуляра къ  $AB$  ставятъ вѣху  $E$  по направленію плоскости визировація, а для *опущенія* изъ  $E$  перпендикуляра на  $AB$  передвигаются вправо и влево по  $AB$  до тѣхъ поръ, пока всѣ три вѣхи:  $A$ ,  $B$  и  $E$  будутъ находиться на одной вертикальной линіи въ плоскости визировація экера. При этихъ дѣйствіяхъ корпусъ съемщика долженъ быть наклоненъ нѣсколько впередъ, чтобы можно было посредствомъ отвѣса, привязаннаго къ отверстию ручки экера, замѣтить на мѣстности потребную точку.

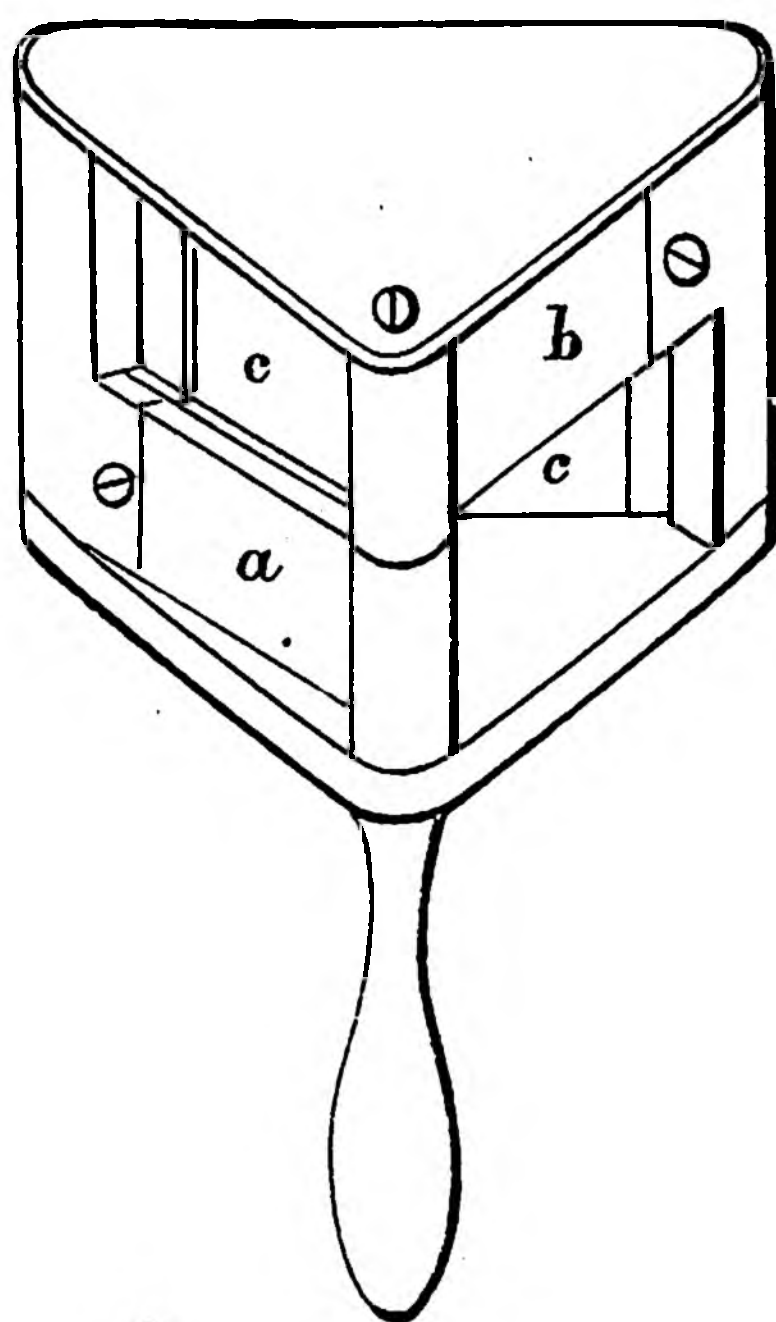
Для повѣрки прямого угла между зеркалами  $b$  и  $c$  опредѣляютъ, по указанному, на линіи  $AB$  точку; затѣмъ повернувшись съ экеромъ (на той же точкѣ мѣстности) на половину оборота смотрятъ служатъ ли

опять изображенія вѣхъ  $A$  и  $B$  продолженіемъ другъ друга. Если нѣтъ, то замѣтивъ на мѣстности въ первый разъ точку  $D$  (черт. 221), а во второй разъ — точку  $E$  дѣлать  $DE$  пополамъ и вставъ въ  $F$  поворачиваютъ зеркала винтами:  $xx'$  и  $yy'$  (черт. 219) *по-ровну* или все равно настолько, чтобы изображенія вѣхъ  $A$  и  $B$  служили другъ другу продолженіемъ; это поворачиваніе исправительныхъ винтовъ дѣлается посредствомъ наложенія на головки ихъ отверстія рукоятки  $R$ . Дѣйстви-тельно ли погрѣшность распределена *по-ровну* на оба зеркала  $b$  и  $c$ , убѣждаются опущеніемъ перпендикуляра на ту же линію  $AB$  изъ какой нибудь точки  $C$  (черт. 221) посредствомъ одной какой нибудь пары зер-калъ, напр.  $a$  и  $b$ , сначала при положеніи инструмента рукояткою внизъ, а потомъ то же самое и съ тою же парюю зеркалъ повторяютъ при положеніи инструмента рукояткою вверхъ. Если при этомъ были полу-чены на мѣстности двѣ точки  $H$  и  $G$ , то средняя точка  $I$  есть истинная подошва перпендикуляра, вставъ на которую подправляютъ положеніе зеркала  $b$ . То же самое повторяютъ и съ другою парюю зеркалъ:  $a$  и  $c$ .

Черт. 221.

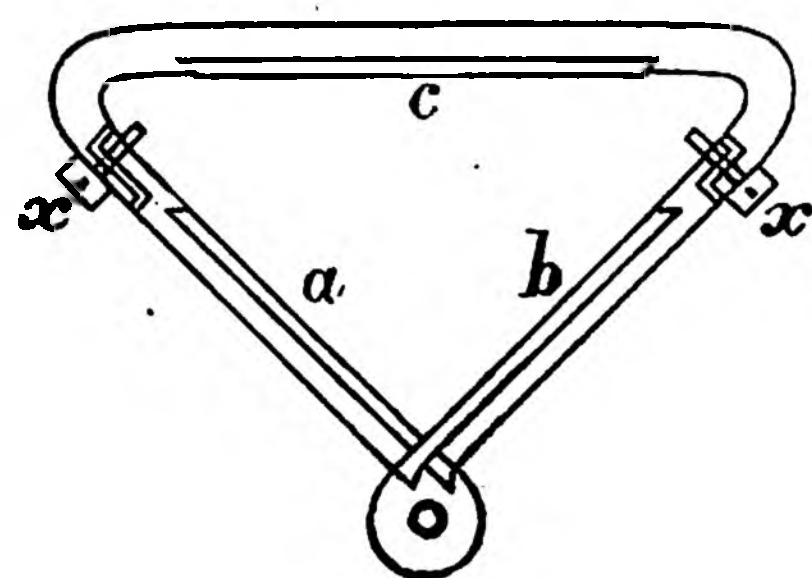


Черт. 222.



Кромѣ экера Кутюро существуетъ еще трехзеркальный экеръ вюр-тембергскаго геометра *Вендельштейна*. Этотъ экеръ, имѣя форму двузеркальнаго, изображенъ въ перспективѣ на черт. 222, а въ планѣ на черт. 223. Въ его оправѣ помѣщаются три зер-кала:  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ; изъ нихъ  $a$  и  $b$ , соединенныя шар-ниромъ, составляютъ между собою уголъ въ  $90^\circ$  а съ зеркаломъ  $c$  — углы въ  $45^\circ$ . Надъ зерка-ломъ  $a$  и подъ зеркаломъ  $b$  сдѣланы четыре-угольные вырѣзы. Къ дну справа привинчена ручка.

Черт. 223.

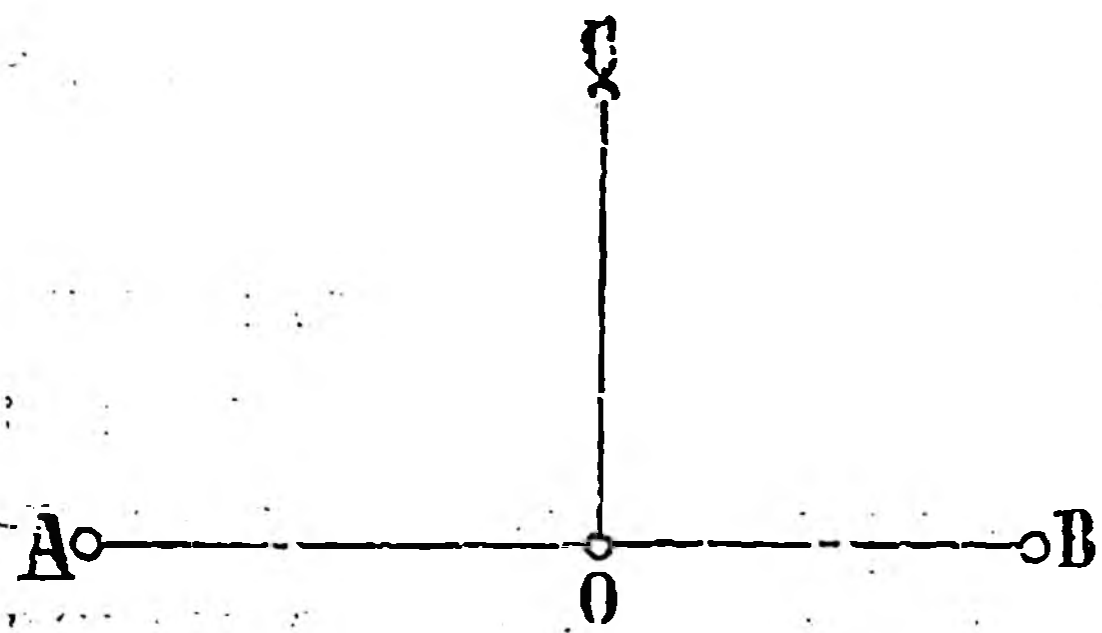


При нахожденіи на мѣстности точки  $O$  (черт. 224), лежащей на данной линіи  $AB$ , смотрятъ сбоку шарнира, соединяющаго зеркала  $a$  и  $b$  (черт. 222), въ отверстіе надъ зеркаломъ  $a$  и, вращая экеръ около оси ручки, передвигаются перпендикулярно къ линіи  $AB$  на-столько, чтобы изображенія обѣихъ вѣхъ  $A$  и  $B$  служили другъ другу

продолженіемъ. Для опущенія перпендикуляра  $CO$  передвигаются по  $AB$  вправо и влево до тѣхъ поръ, пока на одной вертикальной линіи будутъ видны: непосредственно надъ инструментомъ вѣха  $C$ , а чрезъ вырѣзь надъ зеркаломъ  $a$  отраженныя отъ  $a$ ,  $b$  и  $c$  изображенія вѣхъ  $A$  и  $B$ .

Условіе, требуемое отъ экера Вендельштейна, состоитъ, какъ сказано, въ томъ, чтобы зеркала  $a$  и  $b$  (черт. 222) составляли съ зеркаломъ  $c$  углы въ  $45^\circ$ , а между собою — уголъ въ  $90^\circ$ .

Черт. 224.



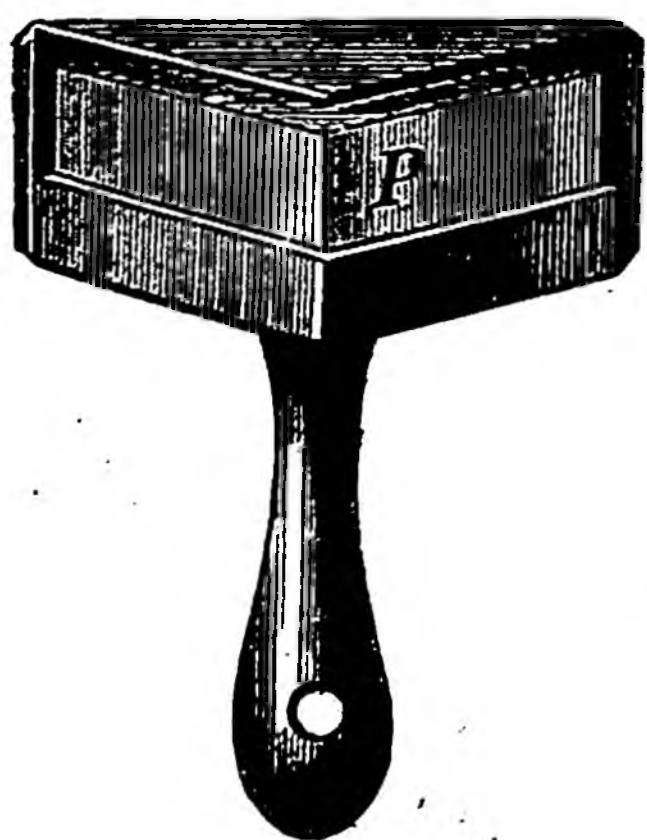
Повѣрка первой половины этого условія производится такъ же, какъ и въ двухъзеркальномъ экерѣ; при чемъ оказавшаяся невѣрность исправляется винтами  $x$ ,  $x$  (черт. 223). Очевидно, что *точное* выполнение этой первой половины имѣетъ слѣдствіемъ соблюденіе второй половины; не смотря однако на это, перпендикулярность между собою зеркалъ  $a$  и  $b$  повѣряется еще разъ тѣмъ, что вставъ съ нимъ въ точку  $O$  (черт. 224) на линіи  $AB$ , смотрятъ — служатъ ли изображенія вѣхъ  $A$  и  $B$ , видимыя въ зеркалѣ  $c$ , продолженіемъ другъ друга. Невыполненіе этого укажетъ на неточное положеніе зеркалъ  $a$  и  $b$  относительно  $c$ .

Теорія этого экера та же, что и экера Кутуро.

**§ 125.** Экеры призмённые состоятъ изъ одной или двухъ трехгранныхъ стеклянныхъ призмъ, помѣщенныхъ въ оправу съ ручкою. Устройство ихъ принадлежитъ *Бауернфейнду* \*).

Однопризмённый экеръ состоитъ изъ прямоугольной равнобедренной призмы  $P$  (черт. 225), заключенной въ мѣдную оправу, которая закрываетъ верхъ, низъ и гипотенузу ея. Одинъ изъ катетовъ призмы обращается къ глазу наблюдателя, повернувшись въ сторону искомаго перпендикуляра, а другой катетъ обращается къ вѣхѣ, поставленной на данной линіи.

Черт. 225.



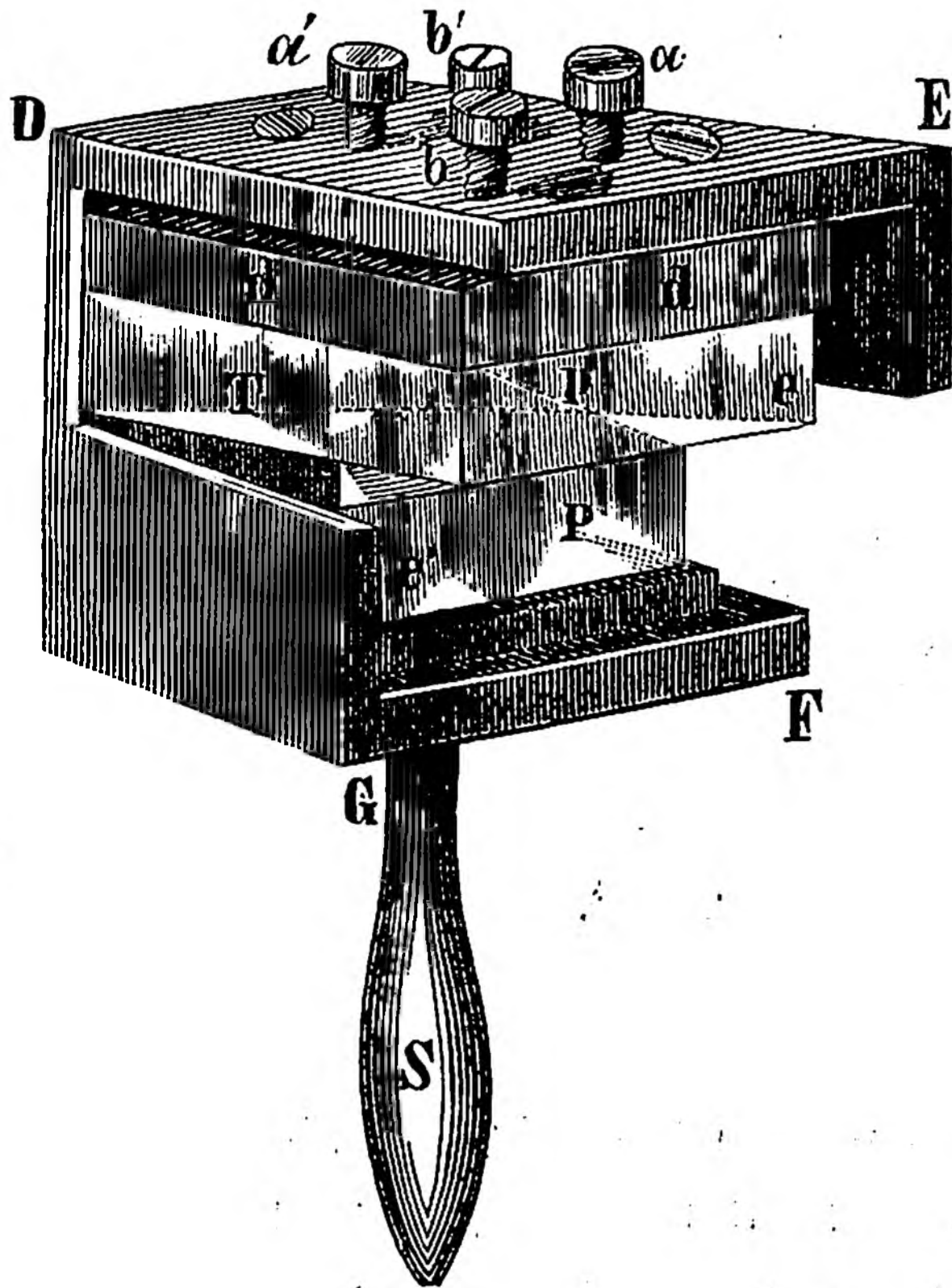
Двупризмённый экеръ (черт. 226) состоитъ изъ двухъ призмъ  $P$  и  $P'$ , заключенныхъ въ мѣдную оправу  $DEFG$  съ придѣланною внизу ручкою  $S$ . Если сдѣлать сѣченіе экера плоскостью, параллельною основаніямъ призмъ, то увидимъ, что гипотенузы  $AB$  и  $A'B'$  (черт. 227) взаимно перпендикулярны, катеты  $BC$  и  $B'C'$  совмѣщаются, а катеты  $AC$  и  $A'C'$  параллельны между собою. Катеты совмѣщающіеся или, лучше сказать, лежащіе въ одной плоскости, называются *окулярными*, потому что при употребленіи экера они обращаются къ глазу наблюдателя, а катеты взаимно параллельные, обращаемые къ даннымъ предметамъ, *объективными*. Винты  $a$ ,  $a'$ ,  $b$  и  $b'$  наверху экера суть исправительные; они служатъ для установки верхней призмы относи-

\*) Профессоръ и директоръ Политехнической школы въ Мюнхенѣ.

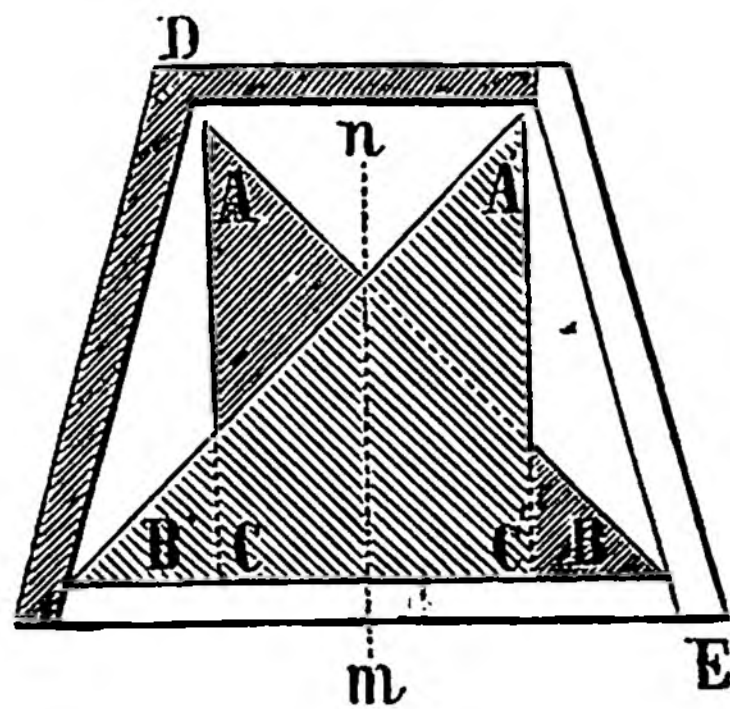
тельно нижней такъ, чтобы грани, ограничивающія прямые углы, и ребра призмы были соответственно параллельны. Въ последнее время въ устройствѣ этого экера сдѣланы измѣненія, состоящія, между прочимъ, въ скрытомъ, а слѣдов. болѣе удобномъ помѣщеніи исправительныхъ винтовъ.

Возстановленіе и опущеніе перпендикуляровъ одно- и двупризмнымъ экеромъ основано на преломленіи и отраженіи въ прямоугольной равнобедренной призмѣ тѣхъ лучей, которые во первыхъ, падая на одинъ

Черт. 226.



Черт. 227.

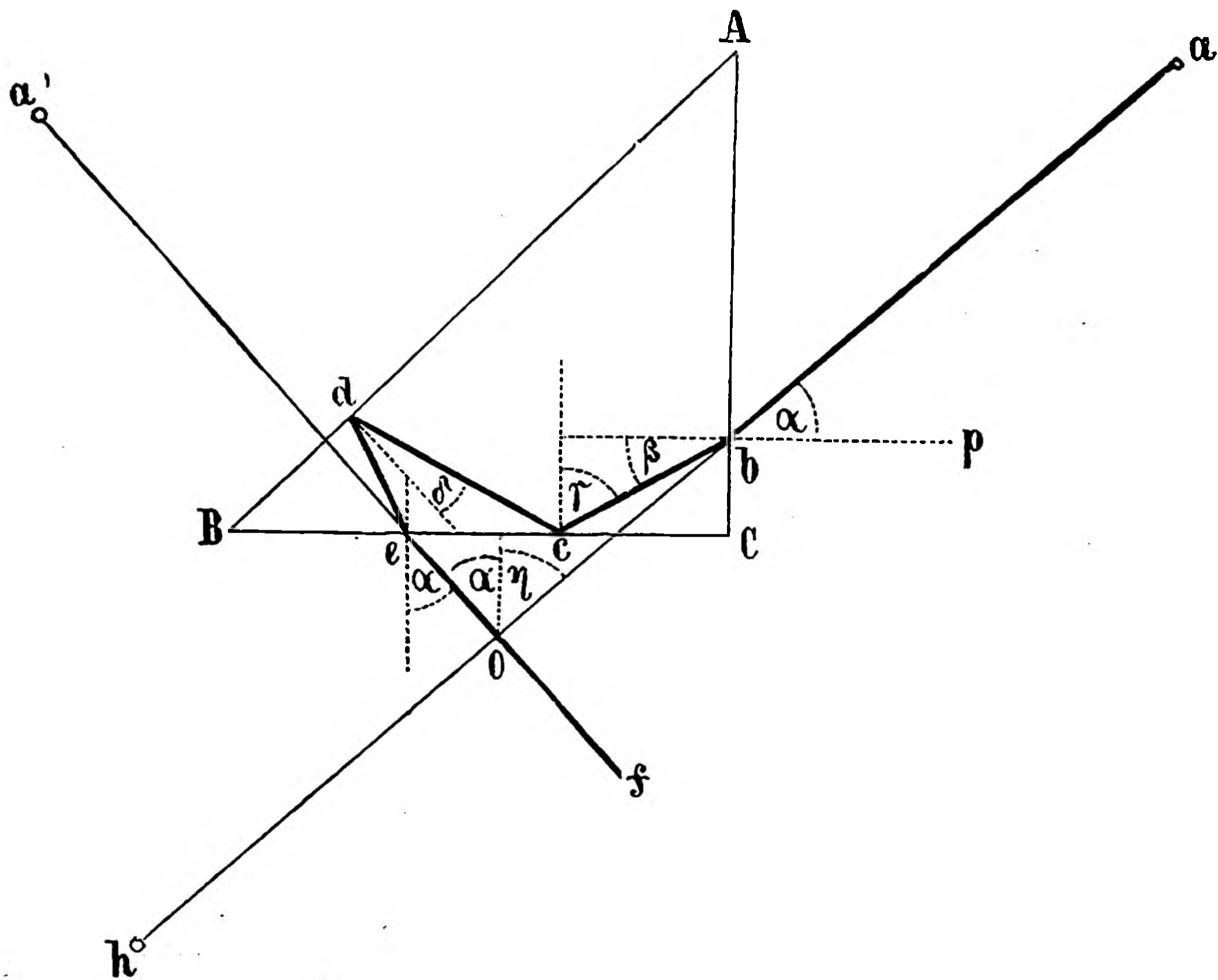


изъ катетовъ, выходятъ по отраженіи отъ другаго катета и гипотенузы изъ втораго катета и во вторыхъ лучей, падающихъ также на одинъ изъ катетовъ и выходящихъ изъ другаго катета послѣ отраженія только отъ гипотенузы. Пусть лучъ  $ab$  (черт. 228) падаетъ на катетъ  $AC$  вблизи прямого угла подъ угломъ паденія  $\alpha$  и по преломленіи своемъ подъ угломъ  $\beta$  встрѣтитъ другой катетъ подъ угломъ паденія  $\gamma$ ; тогда  $\gamma = 90^\circ - \beta$ . Но такъ какъ предѣльный уголъ преломленія для кроунгласа, изъ котораго дѣлаются по большей части призмы для экеровъ, есть  $41^\circ 49'$ ,\*) то на основаніи предыдущаго равенства  $\gamma > 41^\circ 49'$ ; а потому лучъ отразившись отъ катета  $BC$  упадетъ на гипотенузу подъ угломъ паденія  $\delta = \gamma - 45^\circ = 45^\circ - \beta$ . Если теперь  $\beta < 3^\circ 11'$ , то  $\delta$  болѣе  $41^\circ 49'$  и лучъ, отразившись отъ гипотенузы, упадетъ на катетъ  $BC$  подъ угломъ паденія  $\epsilon = 45^\circ - \delta = \beta$ . Послѣ этого лучъ выйдетъ уже изъ призмы подъ угломъ преломленія  $\alpha$ . Изъ чертежа видно, что первоначальное направленіе луча  $ab$  составляетъ съ лучемъ  $eo$ , дважды отраженнымъ и вышедшимъ изъ призмы, уголъ  $\varphi = \eta + \alpha = 90^\circ - \alpha + \alpha = 90^\circ$ .

\*) Призмы, употребляющіяся для экеровъ, дѣлаются иногда также изъ хрустала. Предѣльный уголъ преломленія для хрустала есть  $39^\circ 34'$ .

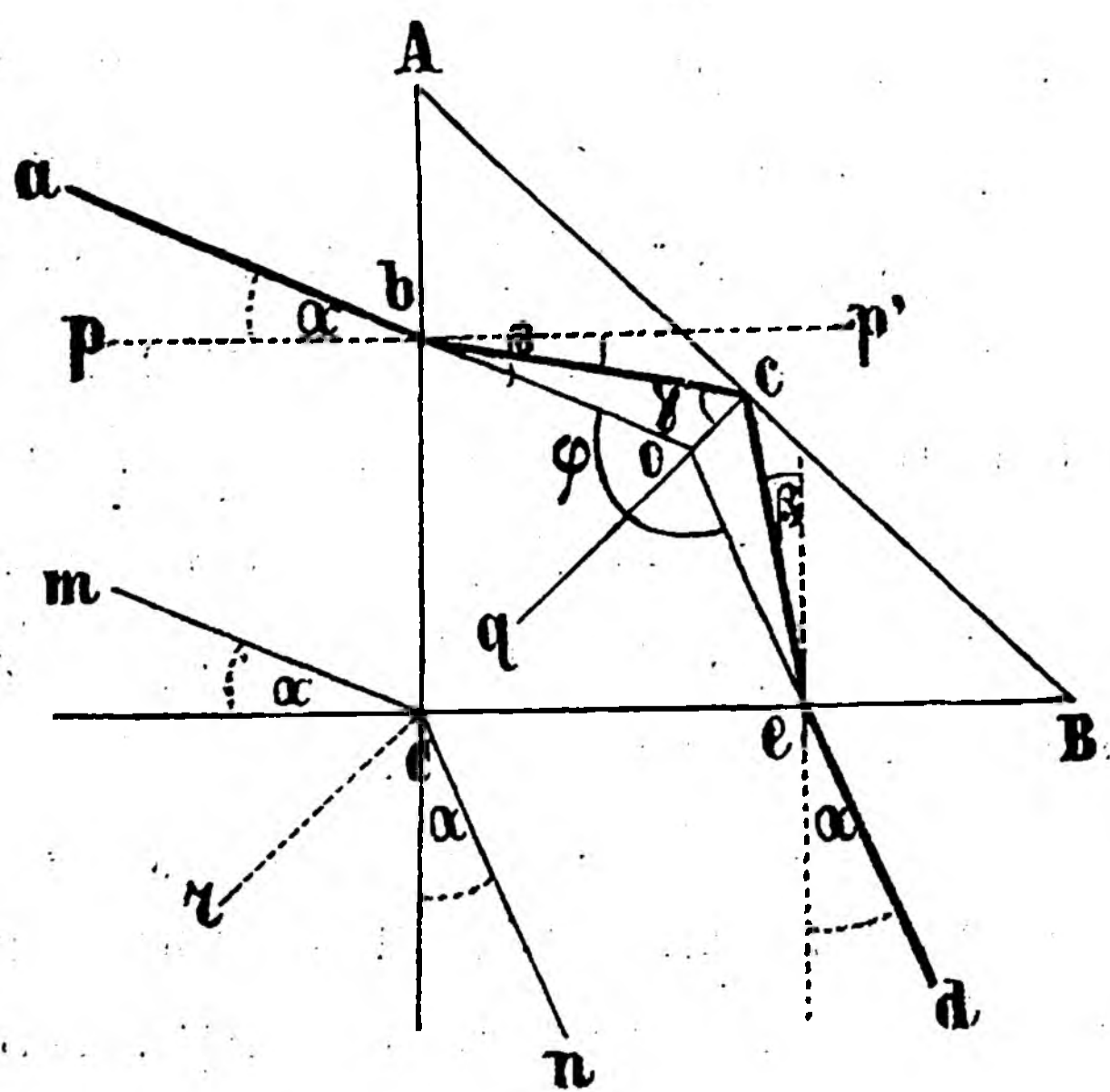
Положимъ теперь, что лучъ  $ab$  (черт. 229), падая на катетъ  $AC$  подъ угломъ паденія  $\alpha$ , встрѣтитъ гипотенузу  $AB$  послѣ преломленія подъ угломъ  $\gamma$ ; тогда  $\gamma = 45^\circ + \beta$  и лучъ отразится отъ гипотенузы,

Черт. 228.

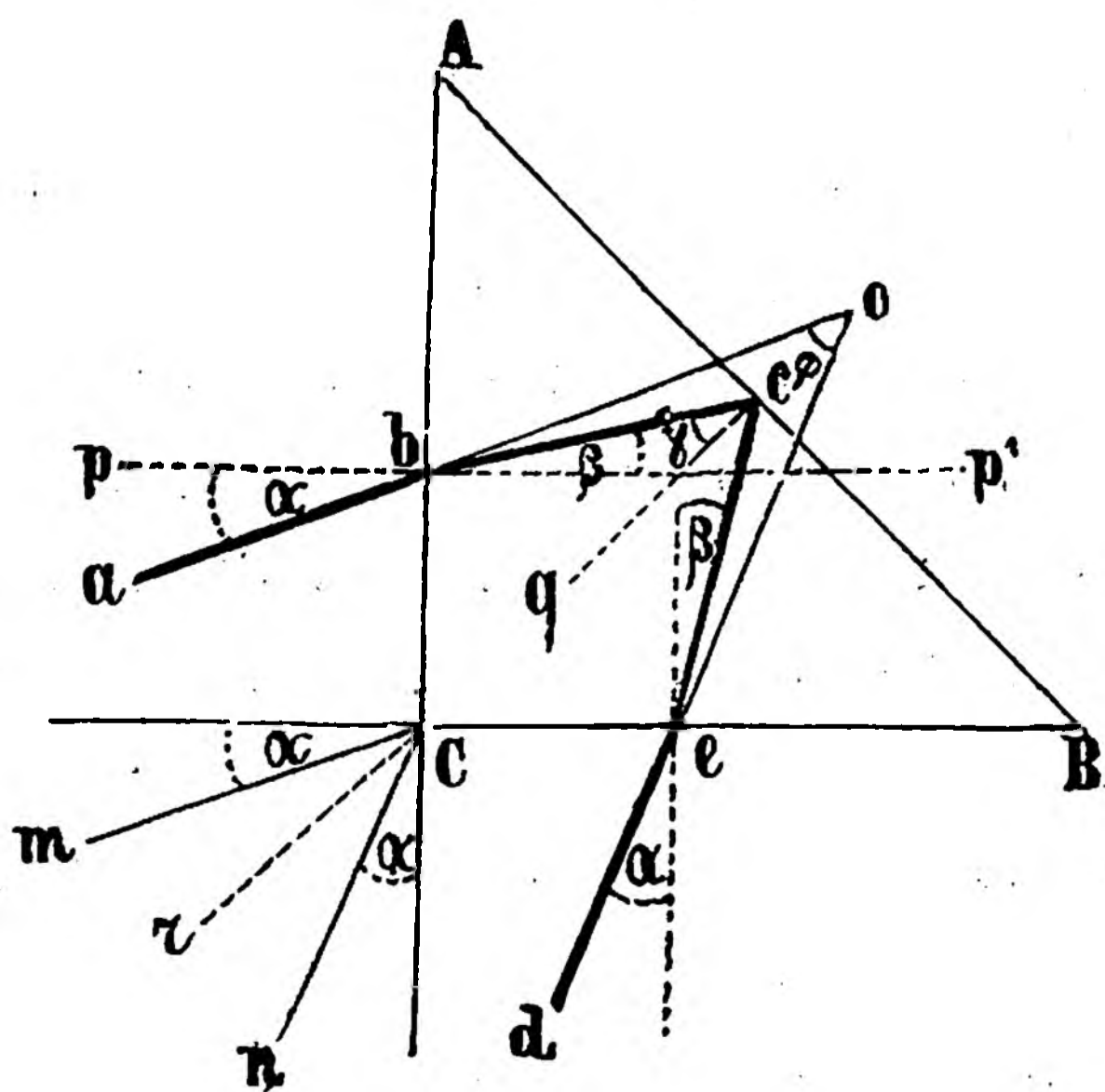


ибо  $\gamma > 41^\circ 49'$ . Далѣе лучъ встрѣтитъ катетъ  $BC$  подъ угломъ паденія  $\delta = \gamma - 45^\circ = \beta$  и слѣд. выйдетъ изъ призмы подъ угломъ  $\alpha$ , равнымъ первоначальному углу паденія на катетъ  $AC$ . Изъ чертежа видно, что первоначальное направление луча  $ab$  съ лучемъ  $ed$  составляетъ уголъ  $\varphi = 90^\circ + 2\alpha$ .

Черт. 229.



Черт. 230.



Наконецъ лучъ  $ab$  (черт. 230), падающій на катетъ  $AC$  со стороны прямого угла призмы подъ угломъ  $\alpha$ , преломится подъ угломъ  $\beta$  и не всегда отразится отъ гипотенузы  $AB$ , ибо такъ какъ  $\gamma = 45^\circ - \beta$ , то отраженіе возможно только при  $\beta$  меньшемъ  $3^\circ 11'$ , тогда  $\gamma > 41^\circ 49'$ . По

отраженіи отъ гипотенузы лучъ упадетъ на катетъ  $BC$  подъ угломъ  $\delta = 45^\circ - \gamma = \beta$  и выйдетъ опять изъ призмы подъ угломъ  $\alpha$ . Уголъ  $\varphi$ , составляемый первоначальнымъ направленіемъ луча и окончательнымъ, есть тогда

$$\varphi = 90^\circ - 2\alpha.$$

И такъ, если лучъ падая на катетъ прямоугольной равнобедренной призмы отразится отъ другаго катета и гипотенузы и выйдетъ изъ втораго катета, то онъ составитъ съ первоначальнымъ своимъ направленіемъ уголъ  $90^\circ$ ; а лучъ, падающій на катетъ и отразившійся только отъ гипотенузы, составитъ съ первоначальнымъ направленіемъ уголъ

$$\varphi = 90^\circ \pm 2\alpha.$$

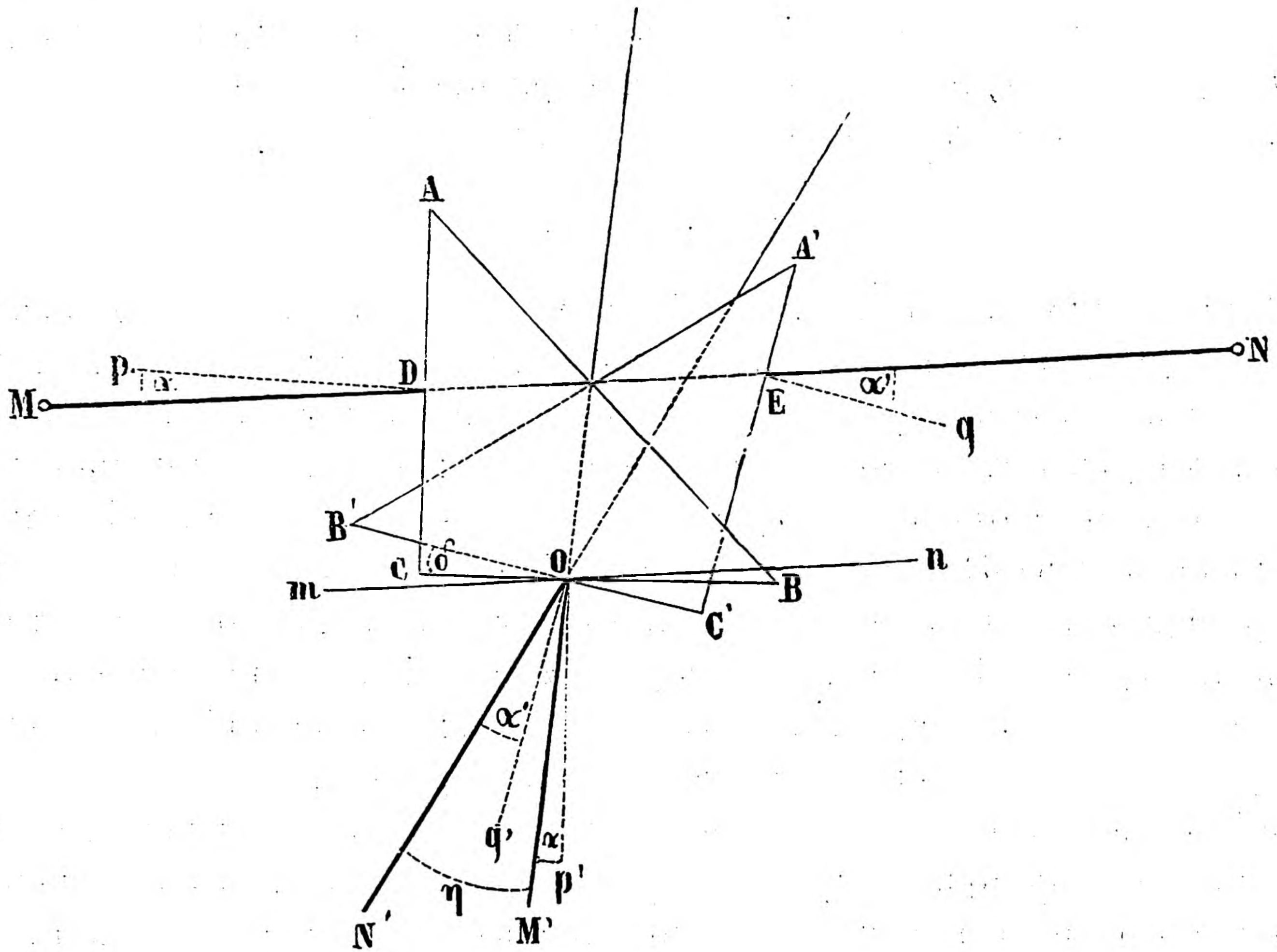
Дѣлая окончательное заключеніе изъ этихъ началъ можно сказать, что если на одинъ изъ катетовъ прямоугольной равнобедренной призмы будетъ падать лучъ отъ предмета и глазъ помѣстимъ противъ другаго катета, то увидимъ вообще два изображенія: одно, полученное чрезъ отраженіе только отъ гипотенузы, а другое — чрезъ отраженіе отъ катета и гипотенузы. Это второе изображеніе отличается отъ перваго тѣмъ, что при вращеніи призмы въ плоскости горизонтальной оно остается неподвижнымъ, ибо не зависитъ отъ угла  $\alpha$  паденія луча на катетъ, и еще тѣмъ, что оно менѣе ярко, потому что во время отраженія луча отъ гипотенузы часть свѣта выходя изъ призмы теряется.

Вслѣдствіе этого для возставленія перпендикуляра изъ точки  $o$  (черт. 228) линіи  $ah$  однопризменнымъ экеромъ держать его надъ этою точкою, обращаютъ однимъ изъ катетовъ призмы къ вѣхѣ  $a$  и смотря въ другой катетъ вращаютъ экеръ около оси рукоятки, пока близъ остраго угла  $B$  появится *неподвижное* изображеніе вѣхи  $a$ ; затѣмъ смотря въ поперѣкъ угла  $B$  и ставятъ рабочаго съ вѣхою  $a'$  такъ, чтобы она казалась продолженіемъ изображенія вѣхи  $a$ . Чтобы опустить изъ данной точки  $a'$  перпендикуляръ, надо подвигаться по  $ah$  до тѣхъ поръ, пока при остромъ углѣ  $B$  будутъ служить другъ другу продолженіемъ: изображеніе вѣхи  $a$  въ призмѣ и вѣха  $a'$ , видимая непосредственно.

При возставленіи перпендикуляра двупризменнымъ экеромъ поступаютъ такъ же, какъ и однопризменнымъ, при чемъ пользуются одною изъ призмъ — верхнею или нижнею. Что же касается опущенія перпендикуляра для чего собственно и предназначается соединеніе двухъ призмъ въ одной оправѣ, то надо прежде показать, что посредствомъ этого соединенія можно опредѣлить на мѣстности точку, лежащую на данной линіи, что дастъ возможность съемщику при опущеніи перпендикуляра держаться на данной линіи самому, безъ посторонней помощи. Рѣшеніе этого послѣдняго вопроса новывается на слѣдующемъ: представимъ себѣ двѣ прямоугольныя равнобедренныя призмы  $ABC$  и  $A'B'C'$  (черт. 231), наложенныя одна на другую такъ, что ребра ихъ взаимно параллельны, а окулярныя плоскости  $BC$  и  $B'C'$  составляютъ между собою уголъ  $\delta$  и положимъ, что обѣ призмы находятся на прямой  $NM$  и дер-

жаты въ рукѣ такъ, что основанія призмъ параллельны лучамъ  $NE$  и  $MD$ , падающимъ на объективныя плоскости  $A'C'$  и  $AC$  соответственно подъ углами  $\alpha'$  и  $\alpha$ . Мы видѣли, что лучъ  $NE$  выйдетъ изъ призмы по направленію  $ON'$  подъ тѣмъ же угломъ  $\alpha'$ , а лучъ  $MD$  выйдетъ изъ призмы по направленію  $OM'$  подъ угломъ  $\alpha$ . Вслѣдствіе этого если

Черт. 231.



вообразимъ глазъ наблюдателя въ  $O$ , то онъ увидитъ предметъ  $N$  по направленію  $N'O$ , а предметъ  $M$  — по направленію  $M'O$ . Оба направленія составляютъ между собою уголъ  $N'OM' = \eta$ ; при чемъ, такъ какъ

$$\eta + \alpha = \delta + \alpha' \text{ и } \alpha' - \alpha = \delta,$$

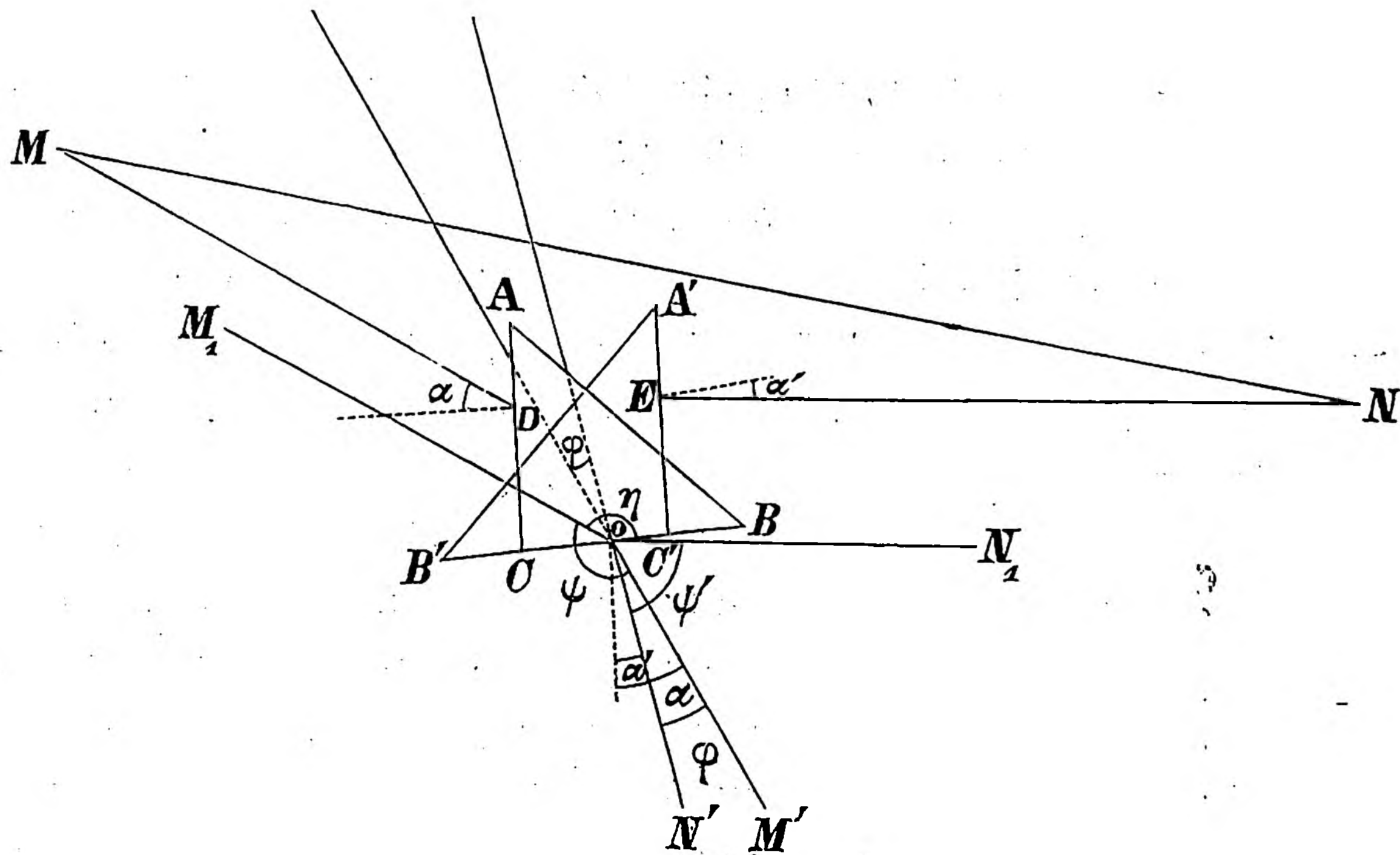
то

$$\eta = 2\delta.$$

Это  $\eta$  обращается слѣдов. въ нуль при  $\delta = 0$ , когда катеты  $BC$  и  $B'C'$  лежатъ въ одной плоскости. Такъ какъ въ этомъ случаѣ оба изображенія  $M'$  и  $N'$  видны по одному направленію, то вѣхи, поставленныя въ этихъ точкахъ, будутъ казаться въ окулярныхъ плоскостяхъ продолженіемъ одна другой. Это явленіе будетъ имѣть мѣсто впрочемъ только при помѣщеніи призмъ на линіи  $NM$ , ибо можно показать, что въ случаѣ если призмъ не будутъ находиться на этой линіи, то изображенія вѣхъ  $N$  и  $M$  не будутъ служить другъ другу продолженіемъ. Дѣйствительно представимъ себѣ, что призмъ  $ABC$  и  $A'B'C'$  (черт. 232), окулярныя плоскости которыхъ совмѣщаются, находятся *внѣ* линіи  $NM$ . Тогда лучъ  $NE$ , падающій на катетъ подъ угломъ  $\alpha'$ , выйдетъ изъ призмы по направленію  $oN'$  составивъ съ первоначальнымъ своимъ направленіемъ  $oN$ , уголъ  $\psi = 90^\circ - 2\alpha'$ ; а лучъ  $MD$  выйдетъ изъ призмы

по направленію  $OM'$  составивъ съ первоначальнымъ направленіемъ  $OM$ , уголъ  $\psi = 90^\circ + 2\alpha$ . Вслѣдствіе этого предметы  $N$  и  $M$  будутъ видны въ окулярныя плоскости призмъ по продолженіямъ направленій

Черт. 232.



$N'O$  и  $M'O$ , составляющимъ между собою уголъ  $\varphi$ . Изъ чертежа видно, что

$$\eta + \psi' + \psi - \varphi = 360^\circ;$$

а такъ какъ

$$\psi = 90^\circ + 2\alpha, \quad \psi' = 90^\circ - 2\alpha',$$

то

$$\varphi = \eta + 180^\circ + 2(\alpha - \alpha') - 360^\circ;$$

но

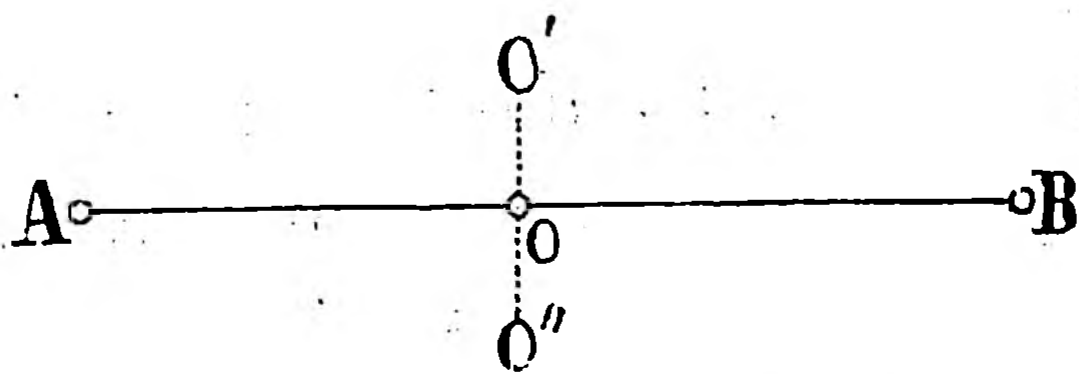
$$\alpha - \alpha' = \varphi,$$

поэтому

$$\varphi = 180^\circ - \eta.$$

Откуда видно, что  $\varphi$  будетъ равно нулю, т. е. изображенія предметовъ  $N$  и  $M$  будутъ видны въ призмахъ по одному направленію, только при  $\eta = 180^\circ$ ; а это возможно при нахожденіи призмъ на линіи  $NM$ . Къ такому же заключенію придемъ даже и при  $\alpha = \alpha'$ . На основаніи этого для нахожденія точки  $o$  на линіи  $AB$  (черт. 233) становятся съ двуприз-

Черт. 233.



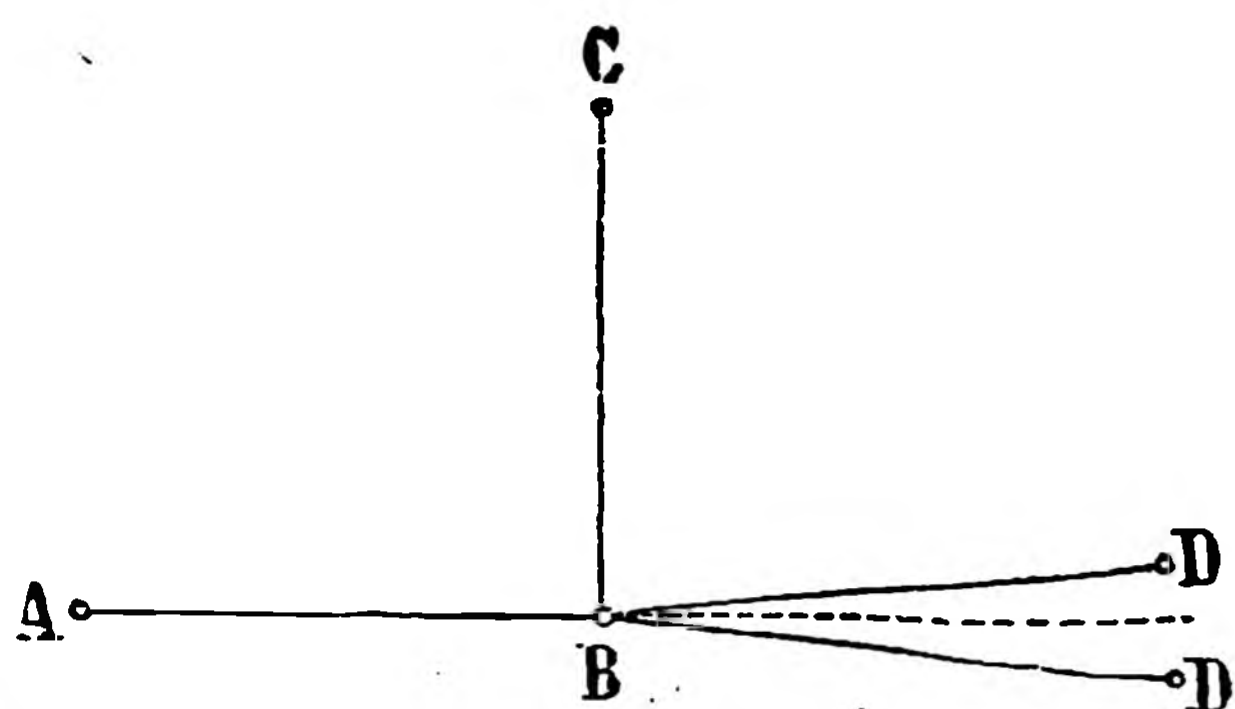
меннымъ экеромъ близъ  $AB$  въ точку  $o'$  или  $o''$ , обращаютъ объективныя плоскости къ предметамъ  $A$  и  $B$  и смотря въ окулярныя плоскости, передвигаются впередъ или назадъ, пока будетъ найдена такая точка  $o$ , въ которой изображенія вѣхъ  $A$  и  $B$  будутъ казаться въ призмахъ продолженіемъ одно другаго.



При опущеніи перпендикуляра посредствомъ двупризменнаго экера съемщикъ передвигается по линіи  $AB$  и перпендикулярно къ ней до тѣхъ поръ, пока продолженіемъ другъ другу будутъ служить: непосредственно видимая вѣха, поставленная въ точкѣ, изъ которой надо опустить перпендикуляръ, и изображенія вѣхъ  $A$  и  $B$ , видимыя въ призмахъ.

Условіе, требуемое отъ однопризменнаго экера, состоитъ въ вѣрности шлифовки призмъ или, иначе, въ томъ, что *грани ихъ должны составлять между собою углы или въ  $90^\circ$ , или въ  $45^\circ$* . Для повѣрки выставляютъ въ точкѣ  $B$  (черт. 234) испытуемымъ экеромъ перпендикуляръ  $BC$  къ линіи  $AB$ ; затѣмъ выставляютъ перпендикуляръ  $BD$  къ линіи  $BC$ . Если вѣхи  $A$ ,  $B$  и  $D$  будутъ находиться на прямой линіи, то  $BC$

Черт. 234.



перпендикулярна къ  $AD$  и слѣдов. шлифовка призмъ вѣрна; въ противномъ случаѣ нужно или перемѣнить призму, или при пользованіи ею употреблять приемы указанные для невѣрныхъ экеро́въ. Въ двупризменномъ экерѣ необходимо, кромѣ того, повѣрить еще два условія: 1) *ребра призмъ должны быть параллельны между собою и*

2) *грани одной призмъ, составляющія прямой уголъ, должны быть параллельны соответственнымъ гранямъ другой призмъ*. Для повѣрки перваго изъ этихъ условій разсматриваютъ въ окулярныя плоскости два какіе нибудь параллельные предмета, напр. вертикально поставленные вѣхи, ребра зданій и т. п., и замѣчаютъ — параллельны ли между собою и ихъ изображенія въ призмахъ; если нѣтъ, то погрѣшность уничтожается винтами  $b$  и  $b'$  (черт. 226), ослабивъ предварительно немного винты  $a$  и  $a'$ . Для повѣрки втораго условія — параллельности граней — назначаютъ на мѣстности три точки на прямой линіи, въ крайнія точки ставятъ вѣхи, а надъ среднею помѣщаютъ экеръ и смотрятъ — служатъ ли изображенія вѣхъ другъ другу продолженіемъ; погрѣшность уничтожается винтами  $a$  и  $a'$ , которыми верхняя призма немного поворачивается.

**§ 126.** Обратимся къ сравнительнымъ достоинствамъ разсмотрѣнныхъ въ предыдущемъ экеро́въ.

Преимущество зеркальныхъ экеро́въ передъ простыми состоитъ *во первыхъ* въ томъ, что проведеніе ими перпендикуляро́въ производится гораздо быстрее. Въ самомъ дѣлѣ, при возстановленіи перпендикуляра на мѣстности простымъ экеромъ надо визировать *по двумъ* направленіямъ, при чемъ съемщику приходится передвигаться около инструмента попеременно отъ одной коллимаціонной плоскости къ другой. Такія передвиженія не нужны при возстановленіи перпендикуляра зеркальнымъ экеромъ, когда съемщикъ визируетъ только по одному направленію. Еще большее сокращеніе времени обнаруживается при опущеніи перпенди-

куляра зеркальнымъ экеромъ, потому что при этомъ съемщикъ безостановочно передвигается вдоль линіи вмѣстѣ съ имѣющимся у него въ рукѣ инструментомъ, тогда какъ передвиженіе и установка простаго экера на данной линіи производится много медленнѣе. Эта быстрота дѣйствій зеркальнымъ экеромъ имѣетъ большое значеніе, потому что при съемкѣ онъ употребляется въ большинствѣ случаевъ, какъ вспомогательный инструментъ для операций второстепенныхъ. Второе преимущество зеркальнаго экера состоитъ въ его легкости и большомъ удобствѣ при употребленіи и перенесеніи съ мѣста на мѣсто.

Эти преимущества нѣсколько умаляются тѣмъ недостаткомъ зеркальнаго экера сравнительно съ простымъ, что этотъ послѣдній можетъ давать линіи визированія болѣе наклонныя, почему и предпочитается въ мѣстности гористой, а также и тѣмъ, что простымъ экеромъ можно иногда проводить на мѣстности линіи подъ угломъ въ  $45^\circ$ , чего нельзя сдѣлать зеркальнымъ экеромъ; наконецъ провѣшиваніе на мѣстности длинныхъ перпендикулярныхъ линій совершается удобнѣе простымъ экеромъ.

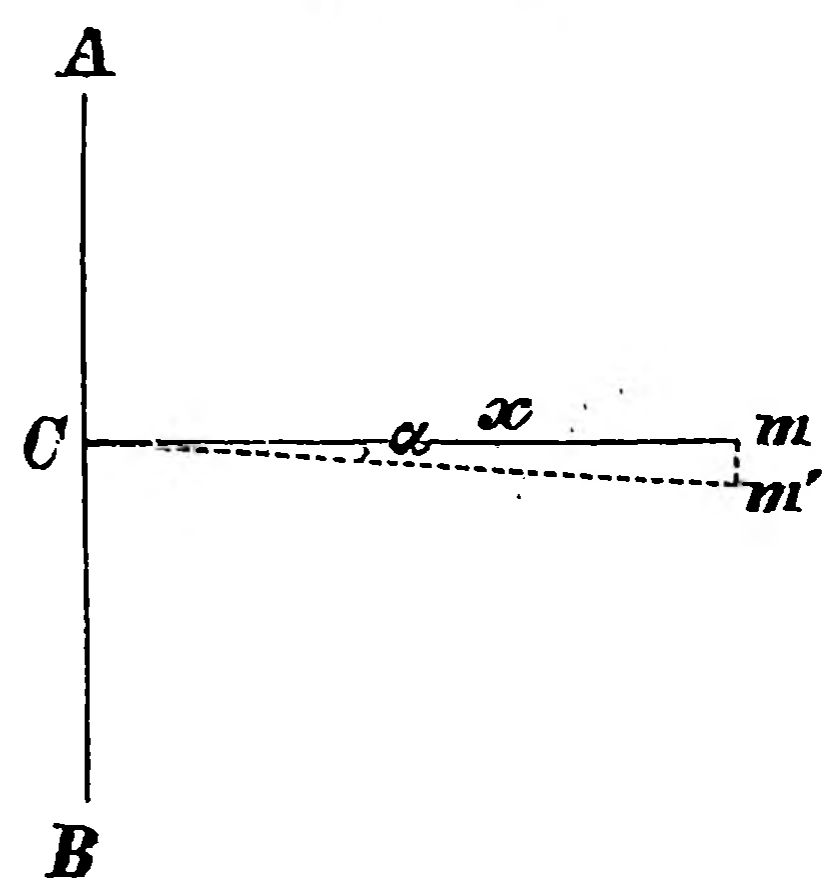
Преимущество призмённыхъ экеромъ передъ зеркальными состоитъ во *первыхъ* въ большей ясности изображеній предметовъ, получаемыхъ вслѣдствіе полнаго внутренняго отраженія; во *вторыхъ* это обстоятельство даетъ возможность настолько уменьшать размѣры призмённыхъ экеромъ, что нѣкоторые изъ нихъ могутъ помѣститься въ жилетномъ карманѣ; во *третьихъ* повѣрка призмённаго экера, относительно вѣрности шлифовки призмы, производится одинъ разъ навсегда, тогда какъ вѣрность взаимнаго положенія зеркалъ, вслѣдствіе случайнаго измѣненія въ исправительныхъ винтахъ (отъ неосторожнаго дотрогиванія до нихъ рукою, тренія во время переноски и т. п.), повѣряется отъ времени до времени.

Для опредѣленія точности экеромъ проводили на мѣстности помощью ихъ перпендикуляры и затѣмъ, поставивъ въ ту точку, гдѣ помѣщался экеръ, болѣе точный угломѣрный инструментъ (теодолитъ, универсальный снарядъ), опредѣляли имъ величину угла, назначеннаго экеромъ. Это измѣреніе показало, что среднюю ошибку проведенія экеромъ перпендикуляра можно принять въ  $2',5$ . А такъ какъ предѣльная ошибка есть утроенная средняя, то для экера она равна  $7',5$ .

Пользуясь этою величиною предѣльной ошибки можно опредѣлить наибольшую длину перпендикуляра, при которой ошибка въ положеніи опредѣляемой точки не должна превышать известной величины. Въ самомъ дѣлѣ если ошибка въ опредѣленіи положенія точки  $m$  (черт. 235) относительно линіи  $AB$  посредствомъ экера не должна превышать данной величины  $mm' = p$ , то изъ чертежа видно, что

$$p = x \operatorname{tg} \alpha \text{ или } x = \frac{p}{\alpha'' \sin 1''},$$

Черт. 235.

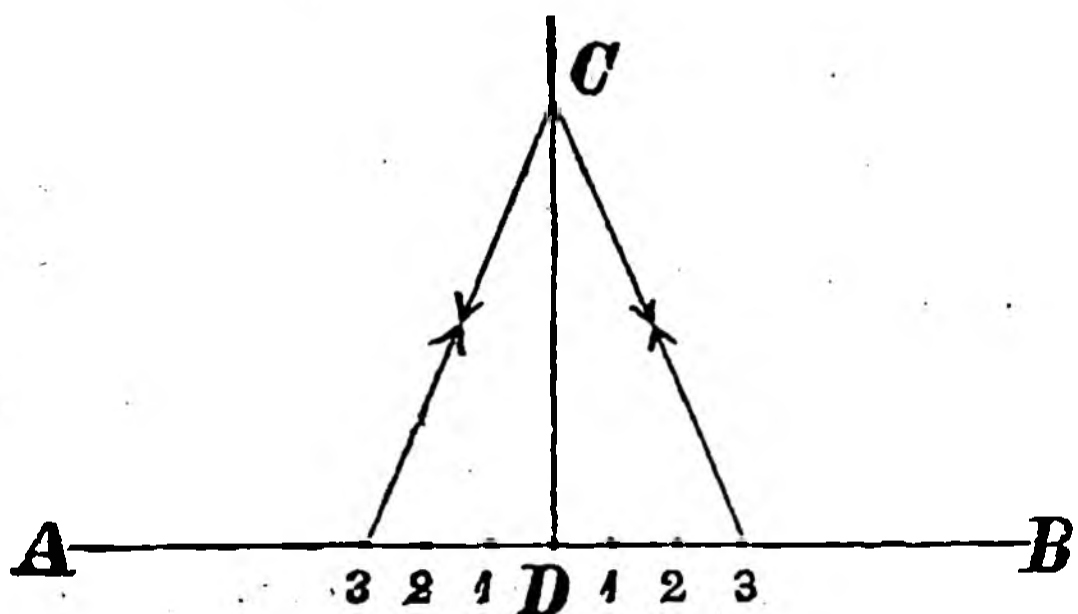


гдѣ  $\alpha''$  есть  $7',5 = 450''$ . Если напр.  $p$  не должно превышать 0,1 сажени, то  $x$  долженъ быть менѣе 45,8 саж. Принимая же во вниманіе еще и то, что условія, требуемыя отъ экера, выполняются въ немъ вообще не съ совершенною точностью, а также и вслѣдствіе дѣйствія при работѣ неизбежныхъ погрѣшностей, наибольшую длину перпендикуляра, проводимаго экеромъ, для опредѣленія положенія точки съ точностью не меншею 0,1 саж., не дѣлаютъ болѣе 30 саж. При съемкахъ селеній, когда они должны быть изображены на бумагѣ въ очень крупномъ масштабѣ (10, 5 или 1 саж. въ дюймѣ)  $p$  не должно быть болѣе 0,01 саж. и тогда длина перпендикуляра  $x$  не должна быть болѣе 3 сажень.

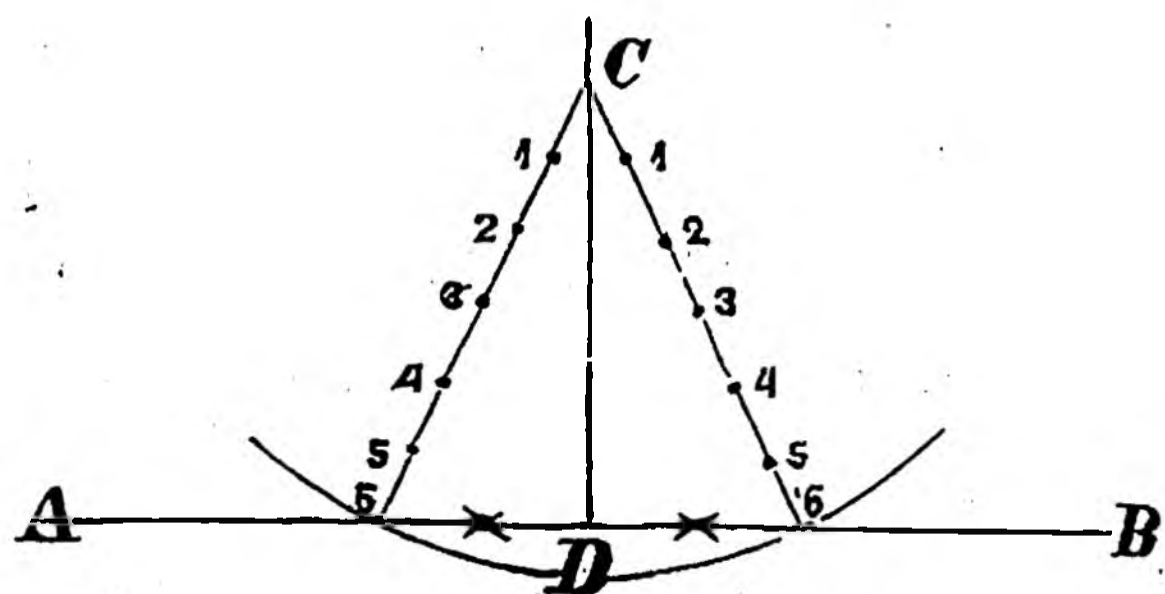
### Задачи, рѣшаемыя на мѣстности.

§ 127. *Проведеніе перпендикуляровъ и параллелей.* Возстановленіе и опущеніе перпендикуляровъ на мѣстности возможно и при помощи только одного изъ мѣрительныхъ снарядовъ — цѣпи или ленты. Дѣйствія эти въ томъ случаѣ, когда перпендикуляръ короче длины цѣпи, производятъ: или посредствомъ тѣхъ приемовъ, которые употребляются для проведенія перпендикуляровъ на бумагѣ (такъ на черт. 236 изображено возстановленіе перпендикуляра на мѣстности помощью цѣпи, а на черт. 237 опущеніе перпендикуляра) или руководствуясь свойствомъ прямоугольнаго

Черт. 236.

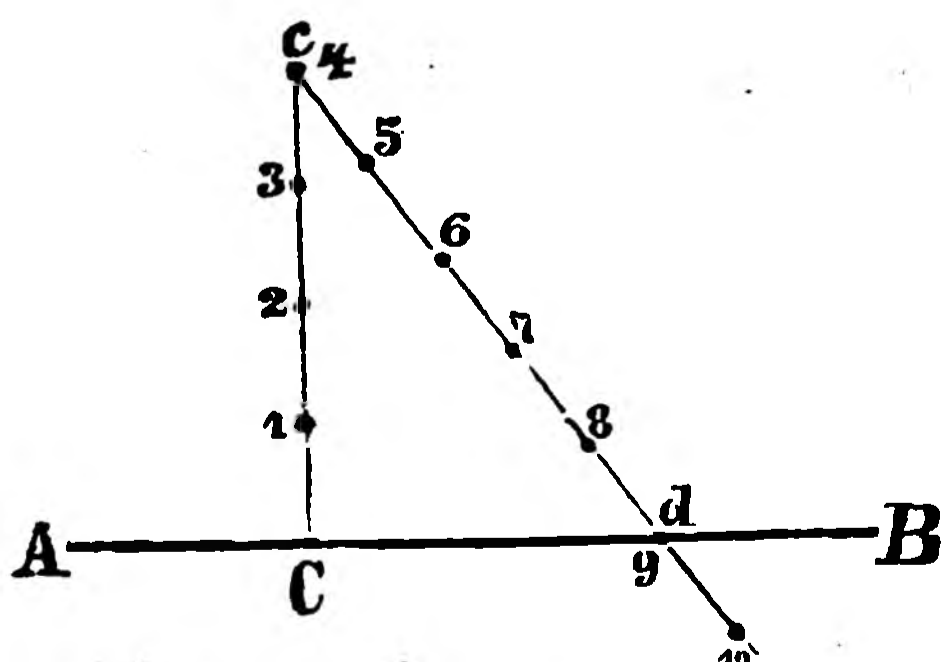


Черт. 237.

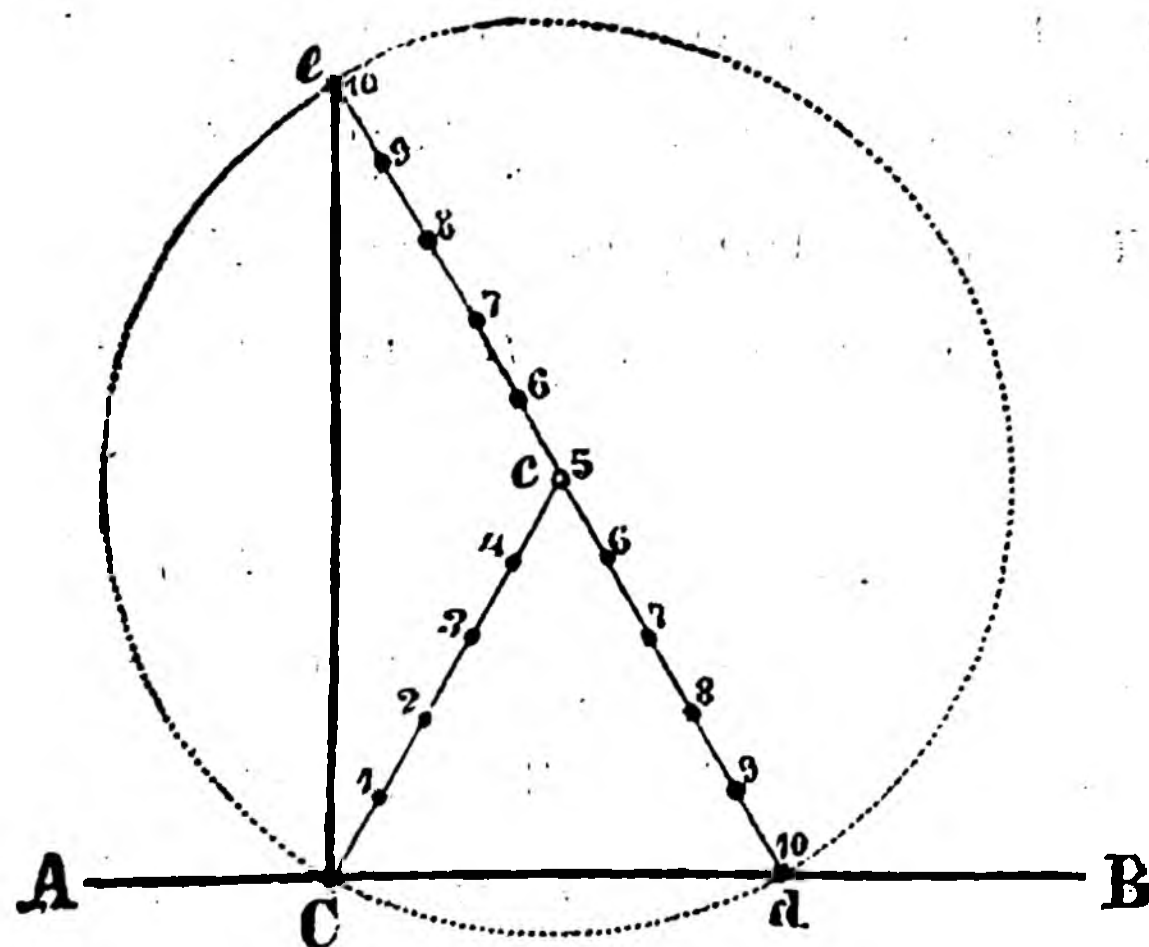


треугольника, что квадратъ гипотенузы равенъ суммѣ квадратовъ катетовъ (черт. 238), или на основаніи того, что если вершина угла ле-

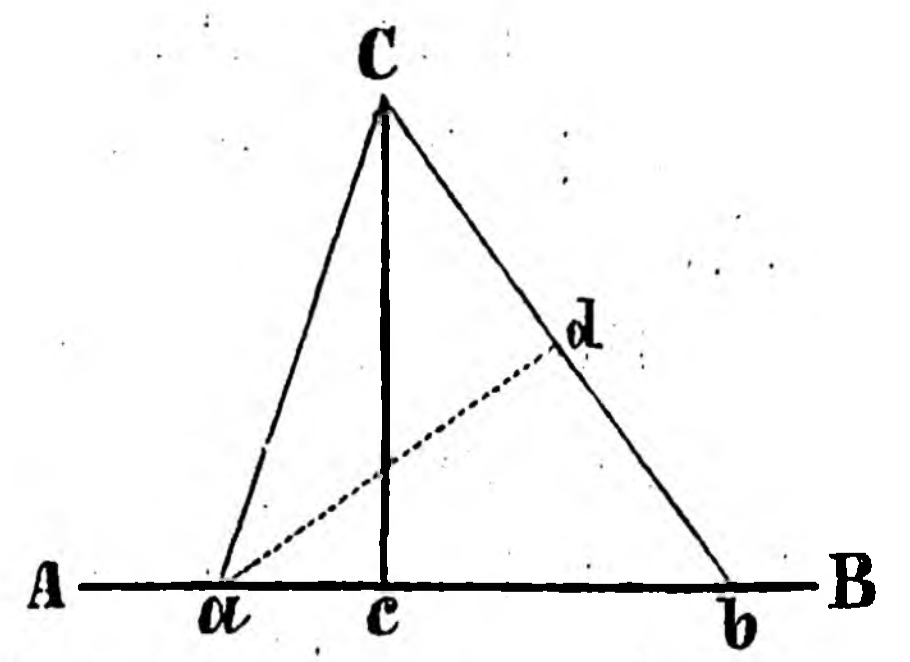
Черт. 238.



Черт. 239.



Черт. 240.



жить на окружности круга, а стороны его проходятъ чрезъ концы діаметра, то такой уголъ есть прямой (черт. 239). Если же длина перпендикуляра, опускаемаго изъ C (черт. 240), болѣе длины цѣпи, то избравъ

на данной линіи  $AB$  произвольную точку  $a$  измѣряютъ  $Ca$ , откладываютъ эту длину по  $AB$  отъ  $a$  до  $b$ , измѣряютъ  $Cb$  и отъ  $b$  по той же линіи откладываютъ  $bc = \frac{bC^2}{2ab}$ . Точка  $c$  есть подошва перпендикуляра, опущеннаго изъ  $C$  на  $AB$ . Для доказательства предположимъ, что  $Cc$  есть дѣйствительно перпендикуляръ къ  $AB$  и что  $Cb$  раздѣлена въ точкѣ  $d$  пополамъ, тогда изъ подобныхъ треугольниковъ  $adb$  и  $Ccb$  имѣемъ

$$bc : bd = bC : ab.$$

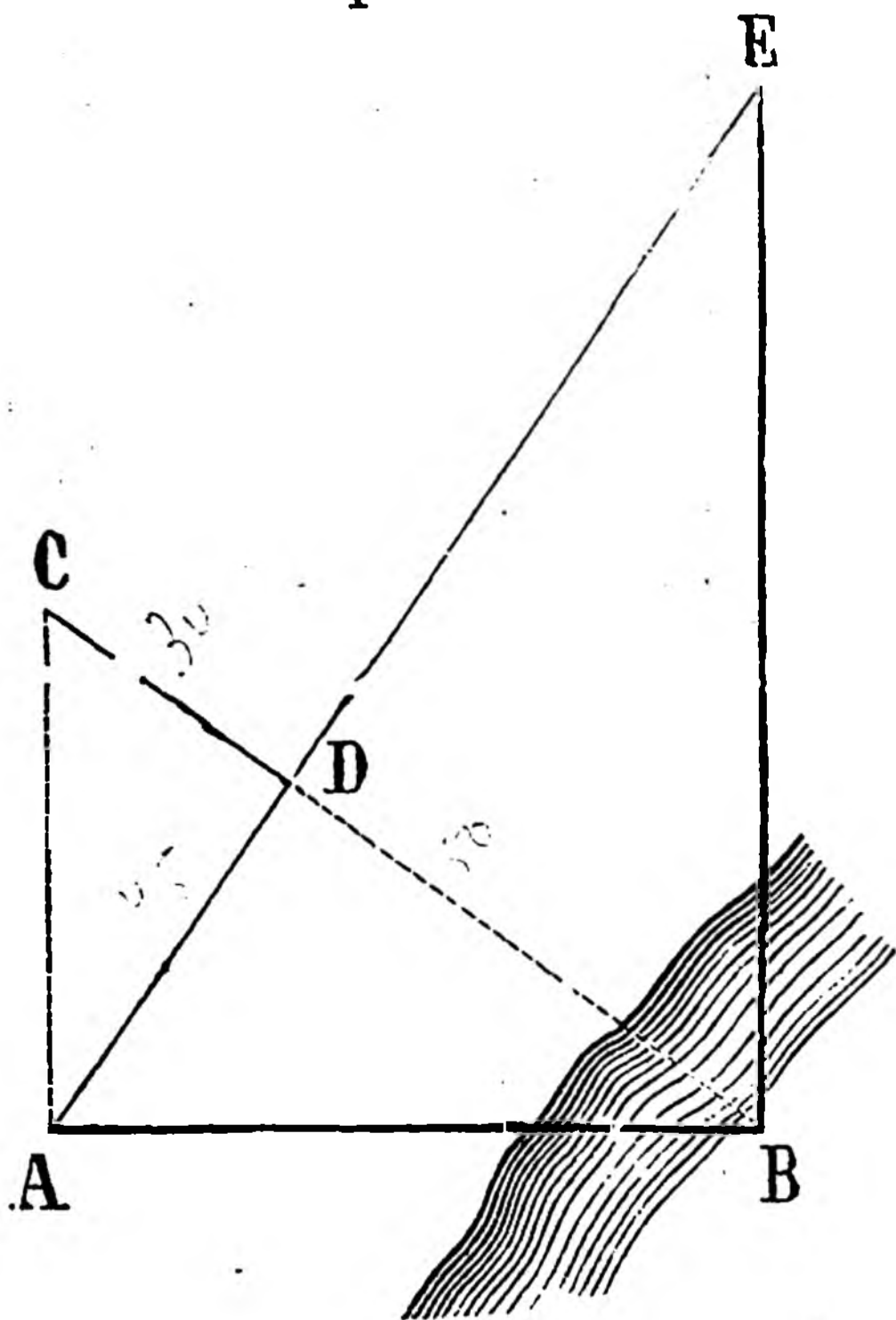
Но такъ какъ  $bd = \frac{1}{2} bC,$

то  $bc = \frac{bC^2}{2ab}.$

Всѣ эти способы уступая по точности проведенію перпендикуляровъ посредствомъ экеровъ требуютъ при своемъ исполненіи значительно больше времени, и потому при съемкѣ употребляются очень рѣдко.

Такъ какъ проведеніе перпендикуляровъ помощью экеровъ было уже объяснено при описаніи ихъ употребленія, то здѣсь остановимся только на тѣхъ случаяхъ, когда указанные тамъ приемы не примѣнимы вслѣдствіе мѣстныхъ препятствій. Положимъ, что къ линіи  $AB$  (черт. 241) требуется возставить перпендикуляръ въ точкѣ  $B$ , которая недоступна. Возставимъ экеромъ перпендикуляръ  $AC$  къ  $AB$  изъ какой либо точки ея  $A$ , возьмемъ на этомъ перпендикулярѣ произвольную точку  $C$  и отыщемъ на  $CB$  подошву  $D$  перпендикуляра  $AD$  къ  $CB$ . Затѣмъ продолжимъ линію  $AD$  за точку  $D$  и на продолженіе отложимъ  $DE = \frac{AD^3}{CD^2}$ . Точка

Черт. 241.



$E$  лежитъ на перпендикулярѣ, возставленномъ къ  $AB$  въ точкѣ  $B$ . Для доказательства вычислимъ длину  $DE$  при предположеніи, что  $BE$  перпендикулярна къ  $AB$ . Изъ подобныхъ треугольниковъ  $ADC$  и  $BDE$  имѣемъ:

$$\frac{DE}{DB} = \frac{AD}{CD}; \text{ откуда } DE = \frac{AD \cdot DB}{CD}.$$

Но извѣстно также, что

$$AD^2 = DB \cdot CD;$$

поэтому

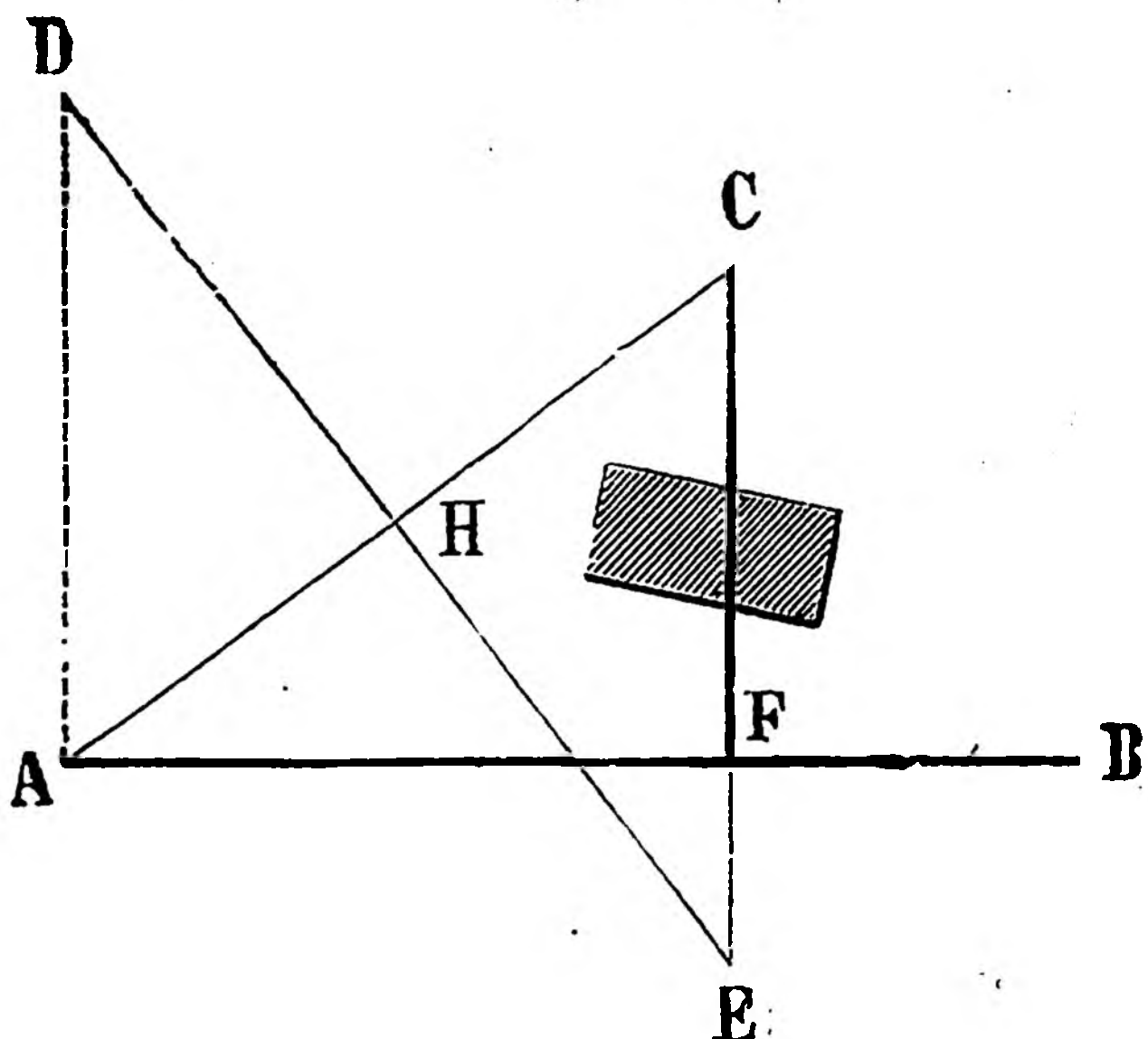
$$\frac{AD^2}{CD^2} = \frac{DB}{CD}.$$

Вслѣдствіе этого

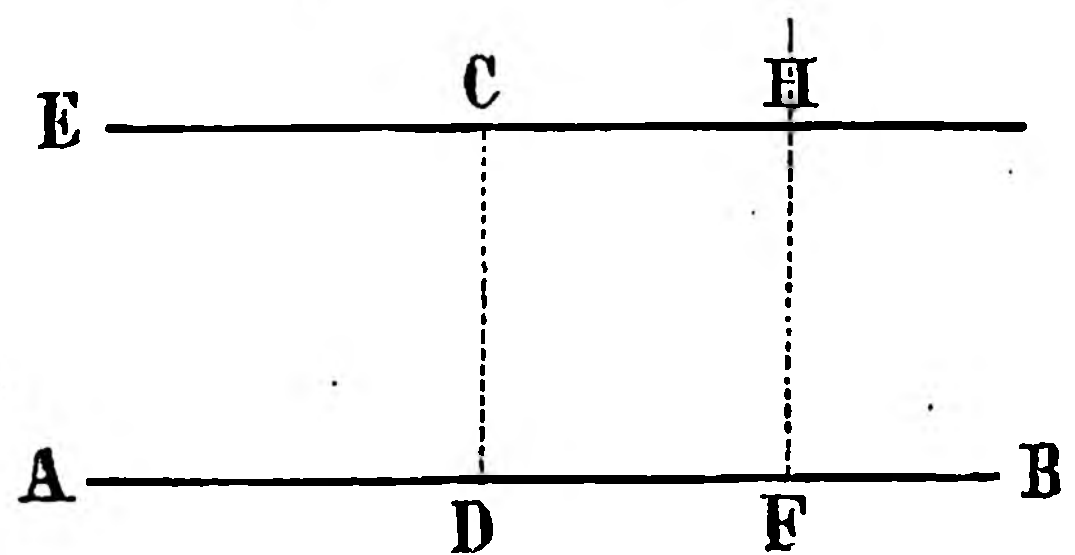
$$DE = \frac{AD^3}{CD^2}.$$

Положимъ теперь, что изъ точки  $C$  (черт. 242) требуется опустить перпендикуляръ на линію  $AB$ ; при чемъ за мѣстнымъ препятствіемъ изъ  $C$  не можетъ быть видна подошва  $F$  этого перпендикуляра. Въ какой либо точкѣ  $A$  возставимъ экеромъ перпендикуляръ  $AD$  къ линіи  $AB$ , возьмемъ на немъ произвольную точку  $D$ , раздѣлимъ линію  $AC$  пополамъ въ точкѣ  $H$ , продолжимъ  $DH$  и отложимъ  $HE = DH$ ; наконецъ опустимъ изъ  $E$  перпендикуляръ  $EF$  на  $AB$ . Точка  $F$  есть также подошва перпендикуляра, опущеннаго изъ  $C$  на  $AB$ . Дѣйствительно изъ равенства треугольниковъ  $AHD$  и  $HCE$  заключаемъ, что уголъ  $DAH =$  углу  $HCE$ ; поэтому линія  $CE$ , какъ параллельная къ  $DA$ , также перпендикулярна къ  $AB$ , а слѣдов. и точка  $F$  лежитъ на перпендикулярѣ  $CE$ , въ противномъ случаѣ изъ  $E$  на линію  $AB$  были бы опущены два перпендикуляра.

Черт. 242.



Черт. 243.



Для проведенія чрезъ точку  $C$  (черт. 243) линіи, параллельной съ линіею  $AB$ , опускаютъ экеромъ изъ этой точки перпендикуляръ на  $AB$ ; затѣмъ перейдя въ  $C$  возставляютъ къ  $CD$  перпендикуляръ  $CE$ , который очевидно параллеленъ съ  $AB$ . Но можно поступать и иначе, а именно: опускаютъ перпендикуляръ  $CD$ , измѣряютъ его длину, въ произвольной точкѣ  $F$  линіи  $AB$  возставляютъ перпендикуляръ  $FH$  и откладываютъ на немъ длину равную  $CD$ . Полученная такимъ образомъ точка  $H$  лежитъ на искомой параллели. Сравнимъ между собою оба эти способа проведенія параллели, при чемъ допустимъ, что неизбежныя погрѣшности, вкравшіяся въ нихъ, достигаютъ высшаго своего предѣла. Вслѣдствіе этого для перваго способа примемъ, что перпендикуляръ  $Ca'$  (черт. 244) уклонился отъ вѣрнаго своего положенія  $Ca$  на уголъ  $\alpha = 7',5$ , а перпендикуляръ  $CD'$ , поэтому, на уголъ  $\delta = 2 \times 7',5 = 15'$ . Тогда  $DD'$  есть уклоненіе параллели отъ вѣрнаго положенія на разстояніи  $CD = n$ . Если ошибку эту обозначимъ чрезъ  $x$ , то будемъ имѣть

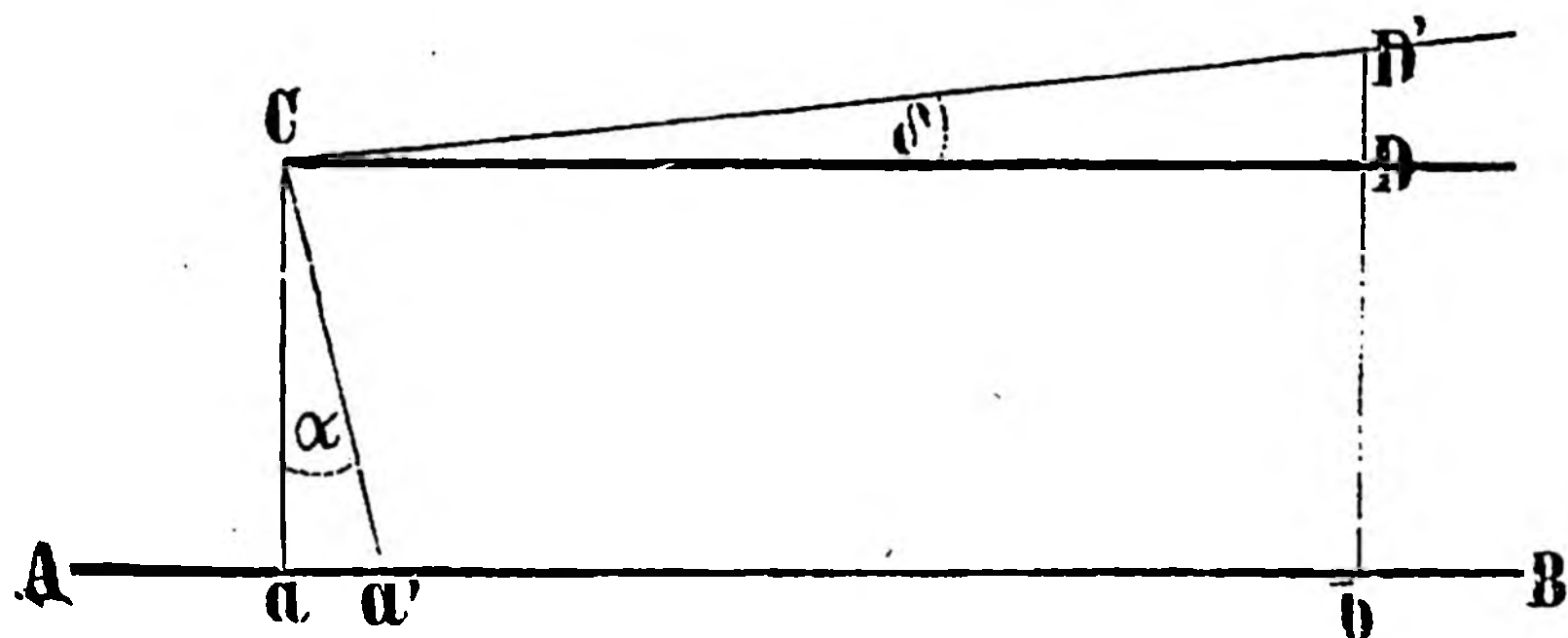
$$x = ntg 0^\circ 15' = 0,004 n. \quad (x)$$

Но съ другой стороны,  $DD'$  можно разсматривать какъ результатъ неизбежныхъ погрѣшностей измѣренія линіи  $Ca$  и отложенія ея по направленію  $bD$ , т. е. дѣйствій, совершаемыхъ при второмъ способѣ проведенія параллельной линіи. А такъ какъ точность измѣренія линіи цѣпью можетъ быть принята, для линій не превышающихъ 500 саж., пропорціональною самой длинѣ линіи, при чемъ предѣльная относительная ошибка этого измѣренія равна  $\frac{1}{500}$ , то высшій предѣлъ для величины  $DD'$  будетъ  $2 \times \frac{1}{500} m = \frac{1}{250} m$ ; гдѣ  $m$  есть длина перпендикуляра  $Ca$ . Обозначивъ полученную такимъ образомъ величину для  $DD'$  чрезъ  $x'$ , имѣемъ

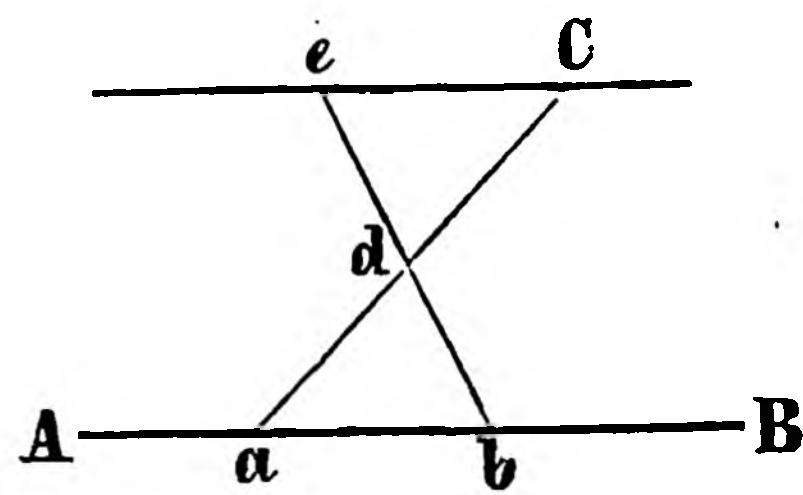
$$x' = \frac{1}{250} m = 0,004 m. \quad (x')$$

Изъ сравненія между собою выраженій  $(x)$  и  $(x')$  видимъ, что такъ какъ  $x < x'$ ,  $x = x'$  и  $x > x'$  соотвѣтственно при  $n < m$ ,  $n = m$  и  $n > m$ , то первый способъ проведенія параллели экеромъ выгоднѣе тогда, когда длина ея менѣе длины перпендикуляра, опущеннаго изъ данной точки на данную линію, оба способа одинаково точны въ случаѣ равенства опущеннаго перпендикуляра съ длиною параллели и наконецъ, если разстояніе между параллелями менѣе длины проводимой параллели, то второй способъ должно предпочесть первому.

Черт. 244.



Черт. 245.



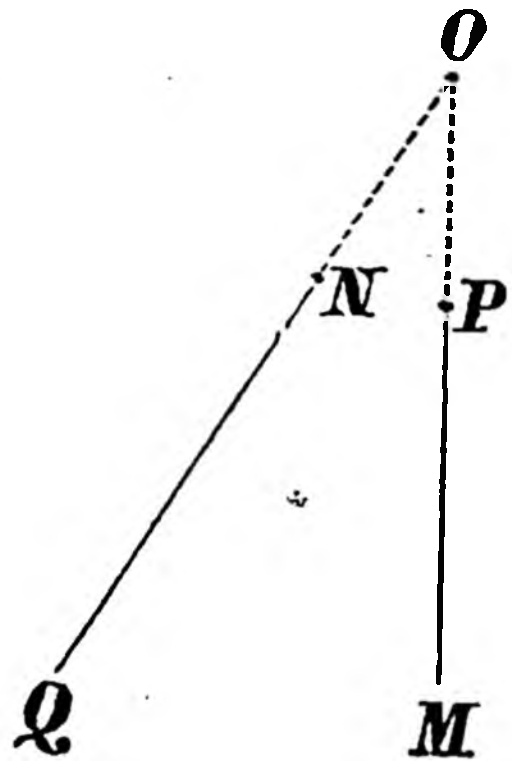
На основаніи этого если на мѣстности надо экеромъ построить десятину въ видѣ прямоугольника, то выгоднѣе употребить второй изъ предыдущихъ способовъ и поступить такъ: отмѣривъ длину  $DF$  (черт. 243), равную 80 или 60, или 50 саж., возставить въ точкахъ  $D$  и  $F$  перпендикуляры, на которыхъ отложить соотвѣтственно или 30, или 40, или 48 саж. Площадь полученнаго такимъ образомъ прямоугольника  $DCNF$  равна 1 десятинѣ. Чтобы убѣдиться въ вѣрности построенія, необходимо повѣрить углы  $DCN$  и  $CHF$  — равны ли они  $90^\circ$ .

Можно провести параллель чрезъ  $C$  (черт. 245) и безъ посредства экера употребивъ такой менѣе точный способъ: выбираютъ на  $AB$  двѣ точки  $a$  и  $b$ , измѣряютъ длину  $Ca$ , дѣлятъ ее въ точкѣ  $d$  пополамъ, измѣряютъ длину  $ab$  и на продолженіи ея откладываютъ  $de = ab$ . Понятно, что вслѣдствіе равенства треугольниковъ  $adb$  и  $Cde$  точка  $e$  при точномъ исполненіи всѣхъ дѣйствій, произведенныхъ для ея полученія принадлежитъ линіи, параллельной съ  $AB$  и проходящей чрезъ  $C$ .

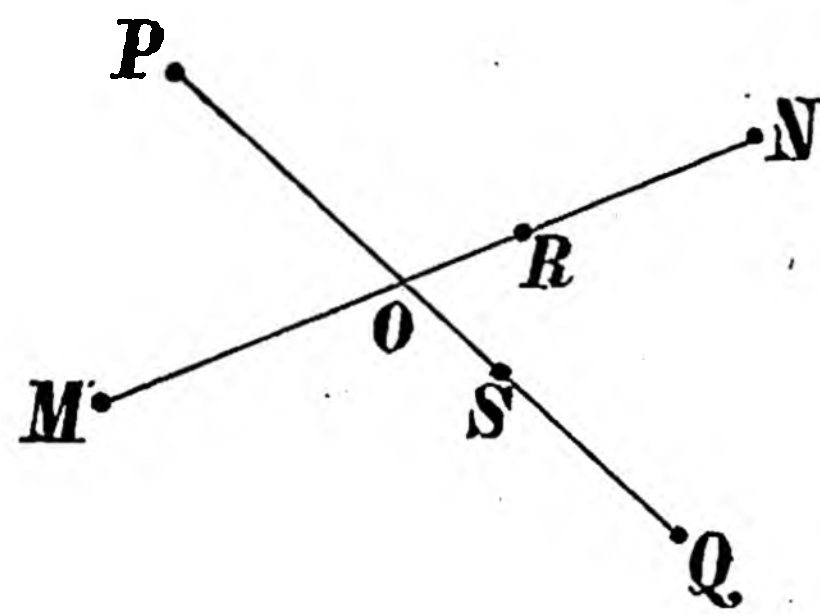
§ 128. *Определение точки пересѣченія двухъ линій.* Простѣйшій случай этой задачи представляется тогда, когда вѣхи, поставленныя на концахъ линій  $PM$  и  $NQ$  (черт. 246), находятся по одну сторону точки пересѣченія. Съемщикъ выбираетъ тогда точку  $O$  такъ, чтобы поставленная въ ней вѣха была одновременно какъ въ створѣ вѣхъ  $P$  и  $M$ , такъ и въ створѣ вѣхъ  $N$  и  $Q$ .

Если вѣхи:  $P$ ,  $Q$ ,  $N$  и  $M$  (черт. 247), поставленныя на концахъ линій, находятся по обѣимъ сторонамъ точки пересѣченія, то для рѣшенія того же вопроса самъ съемщикъ становится у вѣхи  $P$ , а его помощникъ у вѣхи  $M$  и направляютъ послѣдовательно рабочаго съ вѣхою въ точку  $O$ . Если съемщикъ не имѣетъ помощника, то для возможно меньшаго перехода отъ одной вѣхи къ другой, съемщикъ становится сначала къ вѣхѣ  $P$  и выставляетъ рабочаго съ вѣхою въ какую-нибудь точку  $S$  на линіи  $PQ$ ; затѣмъ съемщикъ переходитъ въ  $M$  и устанавливаетъ рабочаго съ другою вѣхою въ точку  $R$  на линіи  $MN$ .

Черт. 246.



Черт. 247.



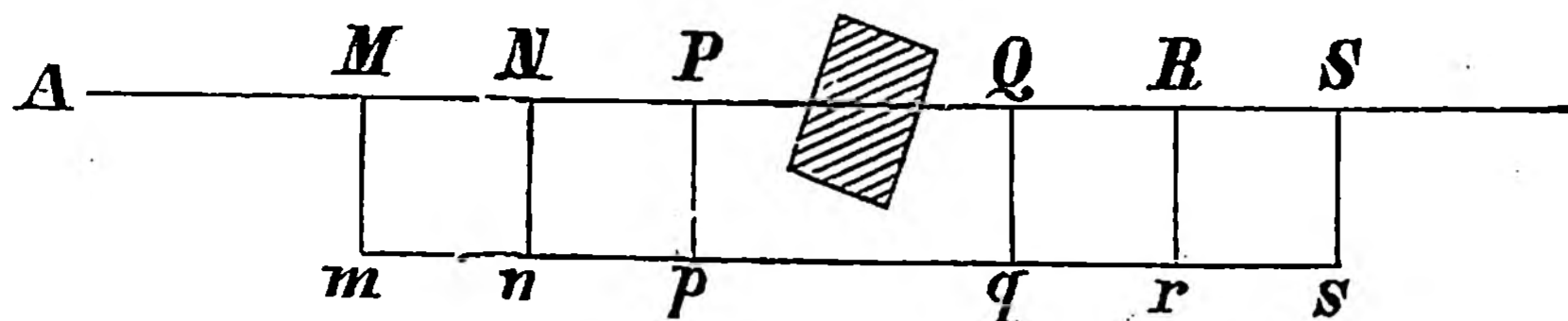
Наконецъ съемщикъ отыскиваетъ точку  $O$  — пересѣченія створовъ вѣхъ  $R$  и  $N$ ,  $S$  и  $Q$ .

Нѣтъ надобности ни въ вспомогательныхъ вѣхахъ  $R$  и  $S$ , ни въ помощникѣ, если съемщикъ имѣетъ при себѣ или трехзеркальный, или двупризмный экеръ, или даже одинъ изъ простыхъ экеровъ съ узкимъ прорѣзомъ въ предметномъ діоптрѣ; ибо тогда, вставъ сначала въ приблизительную точку пересѣченія данныхъ линій, съемщикъ передвигается съ экеромъ перпендикулярно къ одной изъ нихъ, напр.  $PQ$  до тѣхъ поръ, пока найдетъ точку на ней лежащую; затѣмъ узнаетъ посредствомъ того же экера — лежитъ ли эта точка также и на линіи  $MN$ . Если нѣтъ, то передвигается перпендикулярно къ  $MN$ , находитъ точку, на ней лежащую, и смотритъ — лежитъ ли она также и на  $PQ$ . И такъ продолжаетъ далѣе, пока онъ достигнетъ такой точки  $O$ , которая лежитъ одновременно какъ на  $PQ$ , такъ и на  $MN$ .

§ 129. *Въшеніе линіи при незначительномъ мѣстномъ препятствіи и чрезъ небольшой мѣсъ.* Чтобы при въшеніи линіи миновать какое-нибудь препятствіе, напр. домъ, кустарникъ, дерево и т. п., вѣшатъ ее до самаго почти препятствія и берутъ на ней нѣсколько точекъ:  $M$ ,  $N$ ,  $P$ , .... (черт. 248), въ которыхъ возставляютъ къ линіи  $AP$  перпендикуляры:  $Mm$ ,  $Nn$ ,  $Pp$ , ...., откладывая на нихъ равныя длины и

при томъ такія, чтобы продолженіе линіи  $mnr$  . . . въ сторону препятствія миновало его, на этомъ продолженіи берутъ точки:  $q, r, s, \dots$  и возставляютъ въ нихъ перпендикуляры, на которыхъ откладываютъ  $qQ = rR = sS = \dots = Mm = Nn = Pr = \dots$ . Очевидно, что точки:  $Q, R, S, \dots$  должны лежать на прямой, что и послужитъ признакомъ

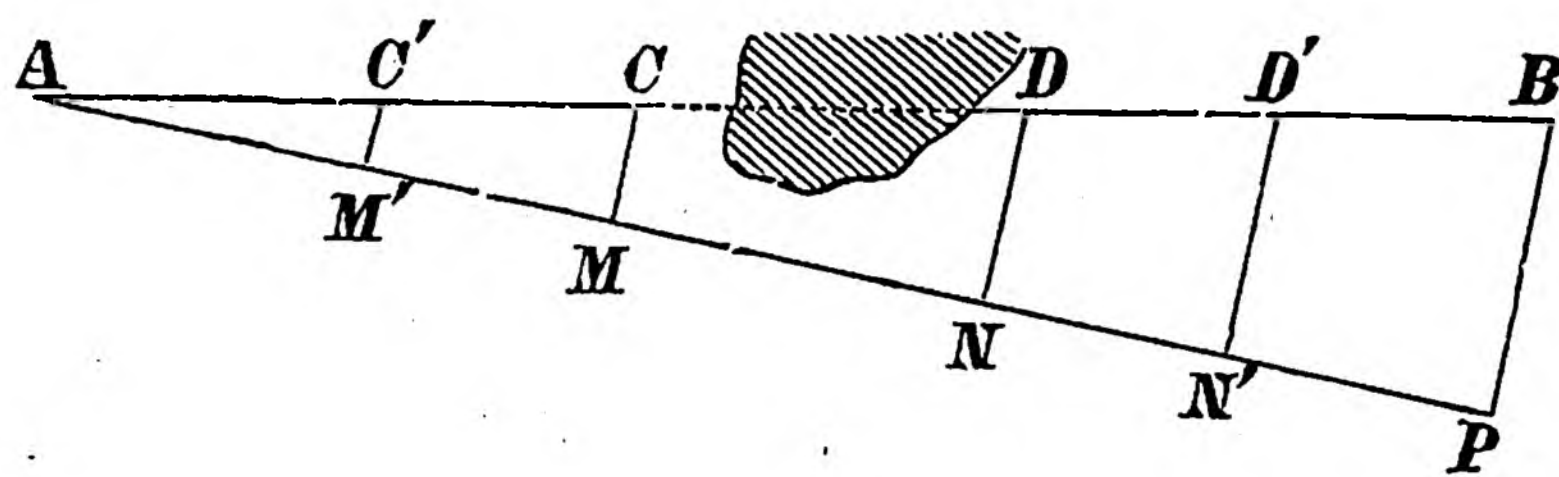
Черт. 248.



вѣрности работы; если же вслѣдствіе неизбежныхъ погрѣшностей возстановленія и измѣренія перпендикуляровъ это условіе не выполнено, то *незначительнымъ* передвиженіемъ вѣхъ  $Q, R, S, \dots$  достигаютъ его выполненія. Значительное уклоненіе одной изъ этихъ вѣхъ въ сторону укажетъ на существованіе грубой ошибки.

Въ предыдущемъ предполагались точки, находящіяся по одну сторону препятствія и требовалось продолжить линію, теперь же допустимъ, что данныя точки  $A$  и  $B$  (черт. 249) лежатъ по обѣимъ сторонамъ препятствія. Для рѣшенія задачи провѣшиваютъ и измѣряютъ линію  $AP$ ,

Черт. 249.



минуящую препятствіе, и изъ точки  $B$  опускаютъ и измѣряютъ перпендикуляръ  $BP$ ; послѣ того выбравъ точки  $M$  и  $N$  возставляютъ къ линіи  $AP$  перпендикуляры  $MC$  и  $ND$  и откладываютъ на нихъ длины

$$MC = \frac{AM \cdot BP}{AP} \text{ и } ND = \frac{AN \cdot BP}{AP},$$

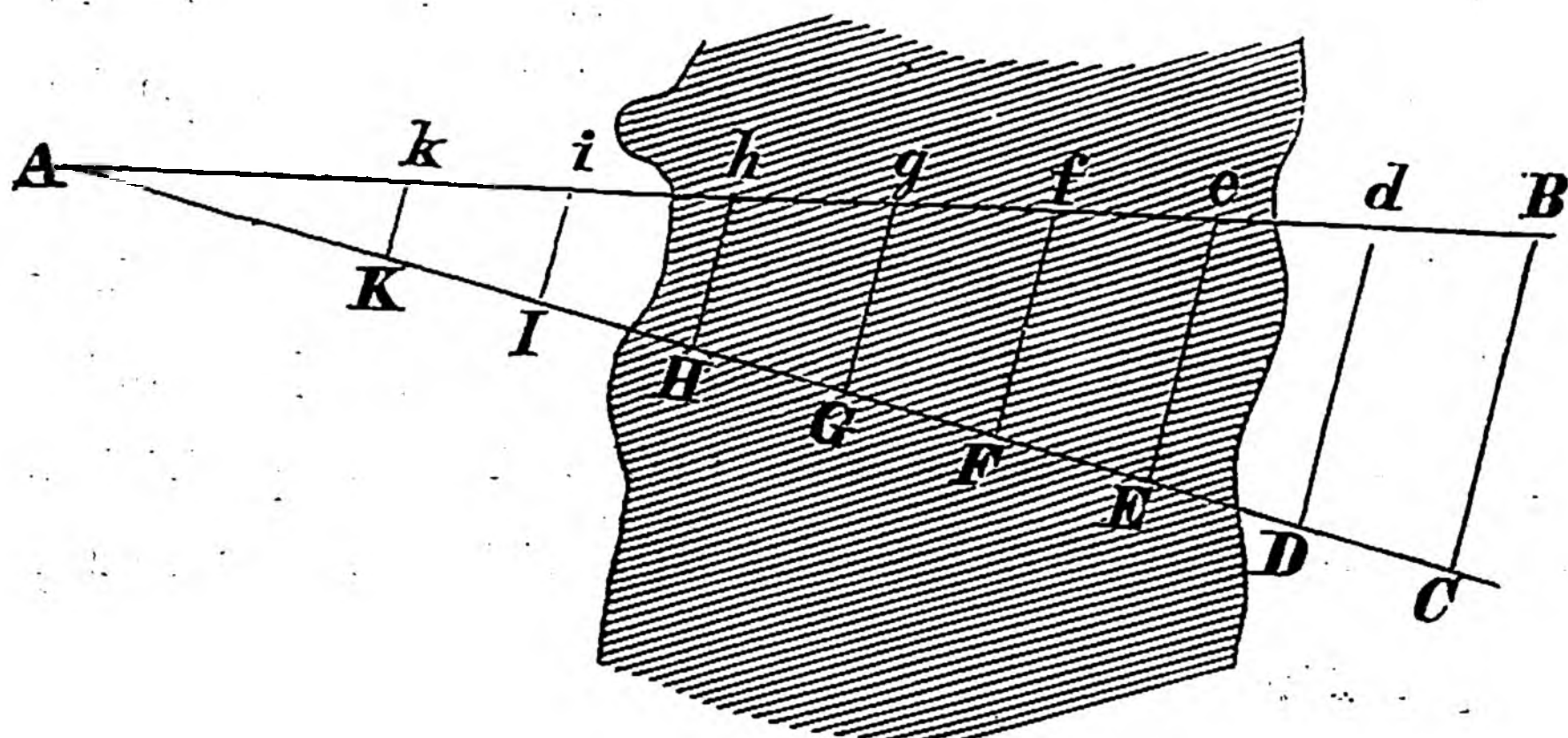
которыя опредѣляются изъ подобныхъ треугольниковъ:  $ACM$  и  $ABP$ ,  $ADN$  и  $ABP$ . Полученныя точки  $C$  и  $D$  дадутъ возможность провѣшить линіи  $AC$  и  $DB$ . Чтобы удостовѣриться въ томъ, что при назначеніи точекъ  $C$  и  $D$  не сдѣлано грубыхъ ошибокъ, назначаютъ подобнымъ же образомъ по обѣимъ сторонамъ препятствія еще точки  $C'$  и  $D'$ . Дѣйствія считаются безошибочными, если точка  $C'$  упадетъ на линію  $AC$ , а  $D'$  — на линію  $DB$ ; въ противномъ случаѣ, при существованіи грубыхъ ошибокъ, предыдущія дѣйствія повторяются и вновь опредѣляютъ мѣста вѣхъ  $C$  и  $D$ , а при незначительныхъ уклоненіяхъ вѣхи  $C', C, D$  и  $D'$  немного передвигаются.

Тѣмъ же приѣмомъ можно воспользоваться и для проложенія просѣка черезъ небольшой (въ нѣсколько десятковъ и даже небольшое число сотенъ сажень) лѣсъ. Если надо сдѣлать просѣкъ по направленію линіи,

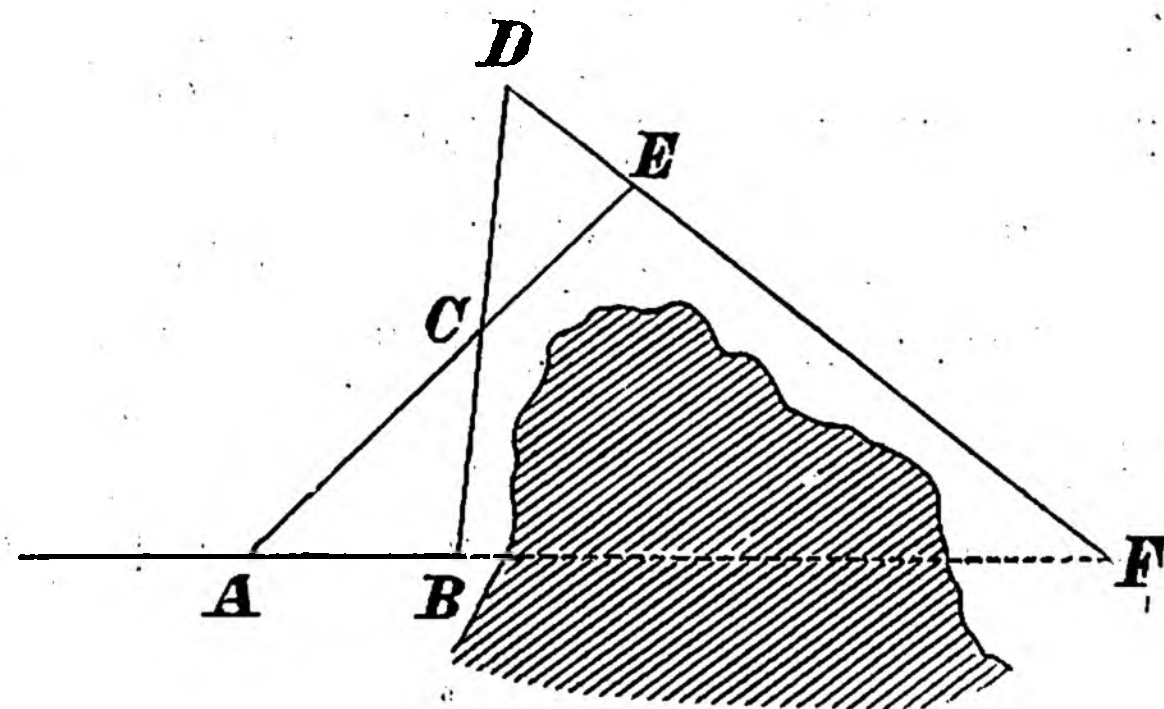


соединяющей точки  $A$  и  $B$  (черт. 250), то по приблизительному направлению просѣка провѣшивается предварительно линия  $AC$ , при чемъ избѣгаютъ по возможности порубки большихъ деревьевъ, а для безпрепятственнаго визировація ограничиваются устраненіемъ ихъ вѣтвей. Для опредѣленія приблизительнаго направленія просѣка, съемщикъ становится въ ночное время въ точку  $A$ , а въ точкѣ  $B$  или разводятъ костеръ, или пускаютъ ракеты чрезъ заранѣе условленные промежутки времени (напр. чрезъ 5 — 10 минутъ). По направленію этихъ свѣтовыхъ знаковъ съемщикъ выставляетъ посредствомъ фонаря вѣху въ точку  $I$ , а на слѣдующій день провѣшиваетъ линію  $AC$  и такъ же какъ въ предыдущемъ опредѣляетъ точки  $k, i, h, \dots e$  и  $d$ , которыя должны лежать на линіи  $AB$ . Имѣя ихъ, дѣлается уже просѣкъ надлежащей ширины.

Черт. 250.



Черт. 251.



Провѣшить линію при мѣстномъ препятствіи можно и безъ помощи экера, хотя болѣе продолжительно и менѣе точно, по одному изъ слѣдующихъ двухъ способовъ. Положимъ, что линію  $AB$  (черт. 251) нужно продолжить чрезъ кустарникъ, не дѣлая въ немъ просѣка. Выбираютъ точку  $C$  такъ, чтобы изъ нея были видны  $A$  и  $B$  и чтобы можно было измѣрить  $CA$  и  $CB$ ; затѣмъ на продолженіи линіи  $BC$  берутъ такую точку  $D$ , изъ которой была бы видна та сторона кустарника, которая должна пересѣкаться продолженіемъ данной линіи  $AB$ , измѣряютъ длину  $DC$ , продолжаютъ  $AC$  до нѣкоторой точки  $E$  и измѣряютъ длину  $CE$ ; наконецъ измѣряютъ  $DE$  и на ея продолженіи откладываютъ длину  $EF$ , опредѣляющуюся изъ равенства

$$EF = \frac{AE \cdot BC \cdot DE}{AC \cdot DC - CE \cdot BC}$$

Точка  $F$  лежитъ на продолженіи линіи  $AB$ . Доказывается это такъ: изъ треугольниковъ  $AEF$ ,  $ABC$  и  $BDF$  можемъ написать:

$$\frac{EF}{AE} = \frac{\sin A}{\sin F},$$

$$\frac{AC}{BC} = \frac{\sin B}{\sin A},$$

$$\frac{BD}{DE + EF} = \frac{\sin F}{\sin B}.$$

Послѣ перемноженія этихъ пропорцій и сокращенія, имѣемъ:

$$EF \cdot AC \cdot BD = AE \cdot BC (DE + EF);$$

откуда

$$EF = \frac{AE \cdot BC \cdot DE}{AC \cdot BD - AE \cdot BC}$$

или

$$EF = \frac{AE \cdot BC \cdot DE}{AC(DC + CB) - BC(AC + CE)}$$

или

$$EF = \frac{AE \cdot BC \cdot DE}{AC \cdot DC - CE \cdot BC}$$

что согласуется съ даннымъ выше выраженіемъ для  $EF$ . Изъ него видно, что точки  $D$  и  $E$  надо выбирать такъ, чтобы произведеніе  $CE \cdot BC$  было менѣе произведенія  $AC \cdot DC$ , потому что при равенствѣ ихъ линія  $EF$  будетъ параллельна  $AB$ , а въ случаѣ  $CE \cdot BC > AC \cdot DC$  точка  $F$  будетъ лежать на той же сторонѣ кустарника, какъ и линія  $AB$ .

Если данныя точки  $A$  и  $B$  (черт. 252) лежатъ по обѣимъ сторонамъ препятствія, то для назначенія точекъ  $D$  и  $E$  безъ помощи экера можно поступить такъ: выбираютъ точку  $C$ , изъ которой были бы видны данныя  $A$  и  $B$ , измѣряютъ разстоянія  $AC$  и  $BC$  и начиная

отъ  $C$  откладываютъ на нихъ  $\frac{1}{n}$  часть ихъ

длинъ (напр.  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$  или  $\frac{1}{4}$ ). Послѣ этого провѣшиваются линіи  $CD'$  и  $CE'$ , измѣряются части  $Cd$  и  $Ce$  и откладываются

$CD = n \cdot Cd$  и  $CE = n \cdot Ce$ . Полученныя такимъ путемъ точки  $D$  и  $E$  должны принадлежать линіи  $AB$ , ибо  $AC = n \cdot aC$  и

$BC = n \cdot bC$ ; а изъ подобія треугольниковъ  $ACD$  и  $aCd$ ,  $BCE$  и  $bCe$  имѣемъ:

$$AC : aC = CD : Cd \text{ и } BC : bC = CE : Ce;$$

слѣдов.

$$CD : Cd = n \text{ и } CE : Ce = n$$

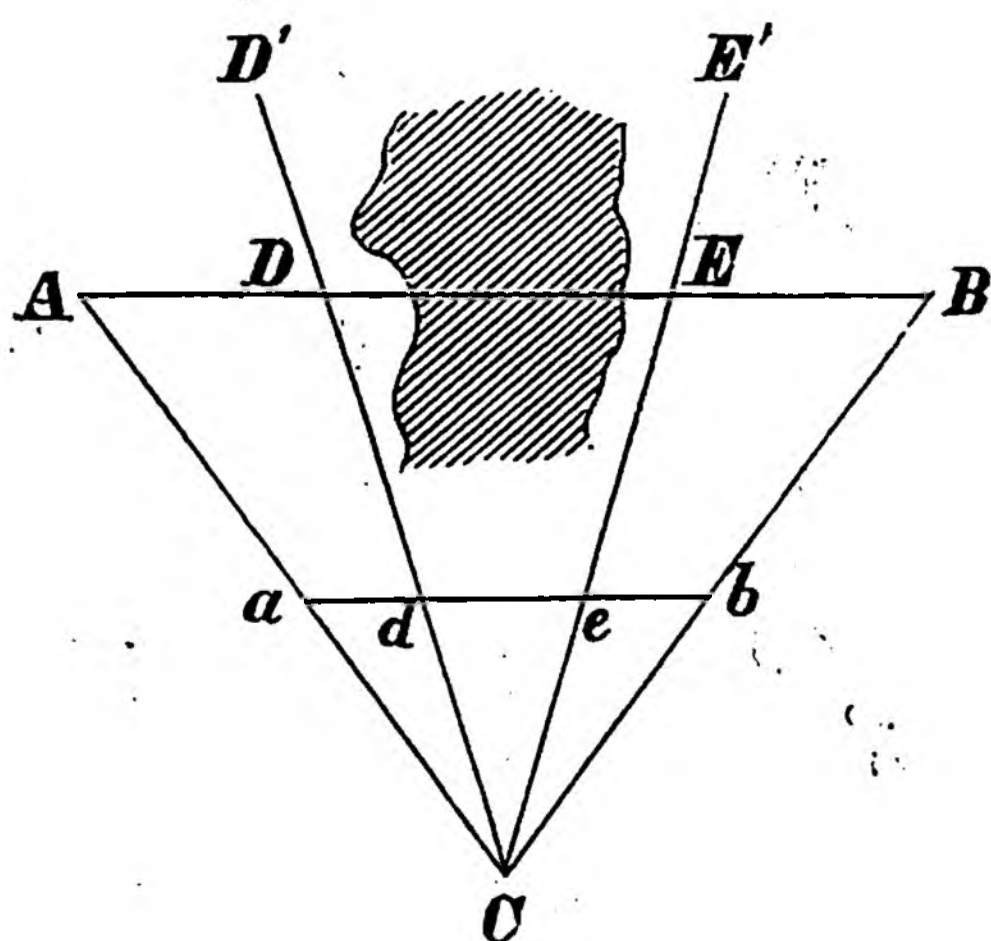
или

$$CD = n \cdot Cd \text{ и } CE = n \cdot Ce.$$

Оба послѣдніе способа не могутъ обладать высокою степенью точности, потому что въ первомъ изъ нихъ для опредѣленія точки  $F$  (черт. 251) требуется произвести много измѣреній на мѣстности, а во второмъ — на опредѣленіе точекъ  $D$  и  $E$  (черт. 252) вліяютъ неизбѣжныя погрѣшности всѣхъ произведенныхъ дѣйствій, увеличенныя въ  $n$  разъ.

130. *Опредѣленіе угловъ.* Для опредѣленія на мѣстности острого угла  $ACB$  (черт. 253) посредствомъ экера на одной изъ сторонъ его,

Черт. 252.

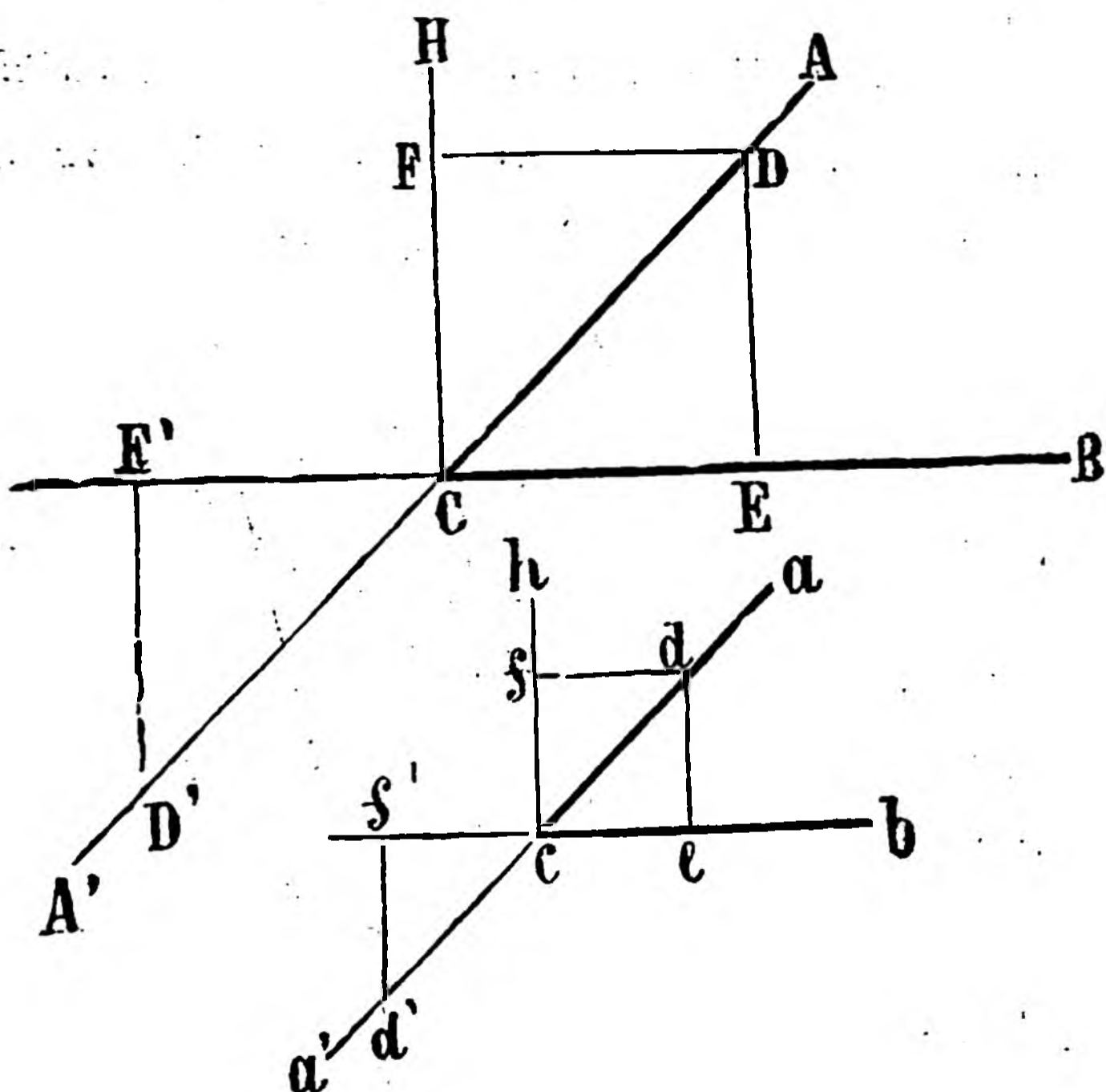


напр.  $CA$ , берутъ точку  $D$ , опускаютъ изъ нея перпендикуляръ  $DE$  на другую сторону угла и измѣряютъ длины  $CE$  и  $DE$ . Построивъ на бумагѣ по двумъ даннымъ катетамъ прямоугольный треугольникъ  $dce$ , соответствующій треугольнику  $DCE$ , уголъ  $ACB$  будетъ опредѣленъ.

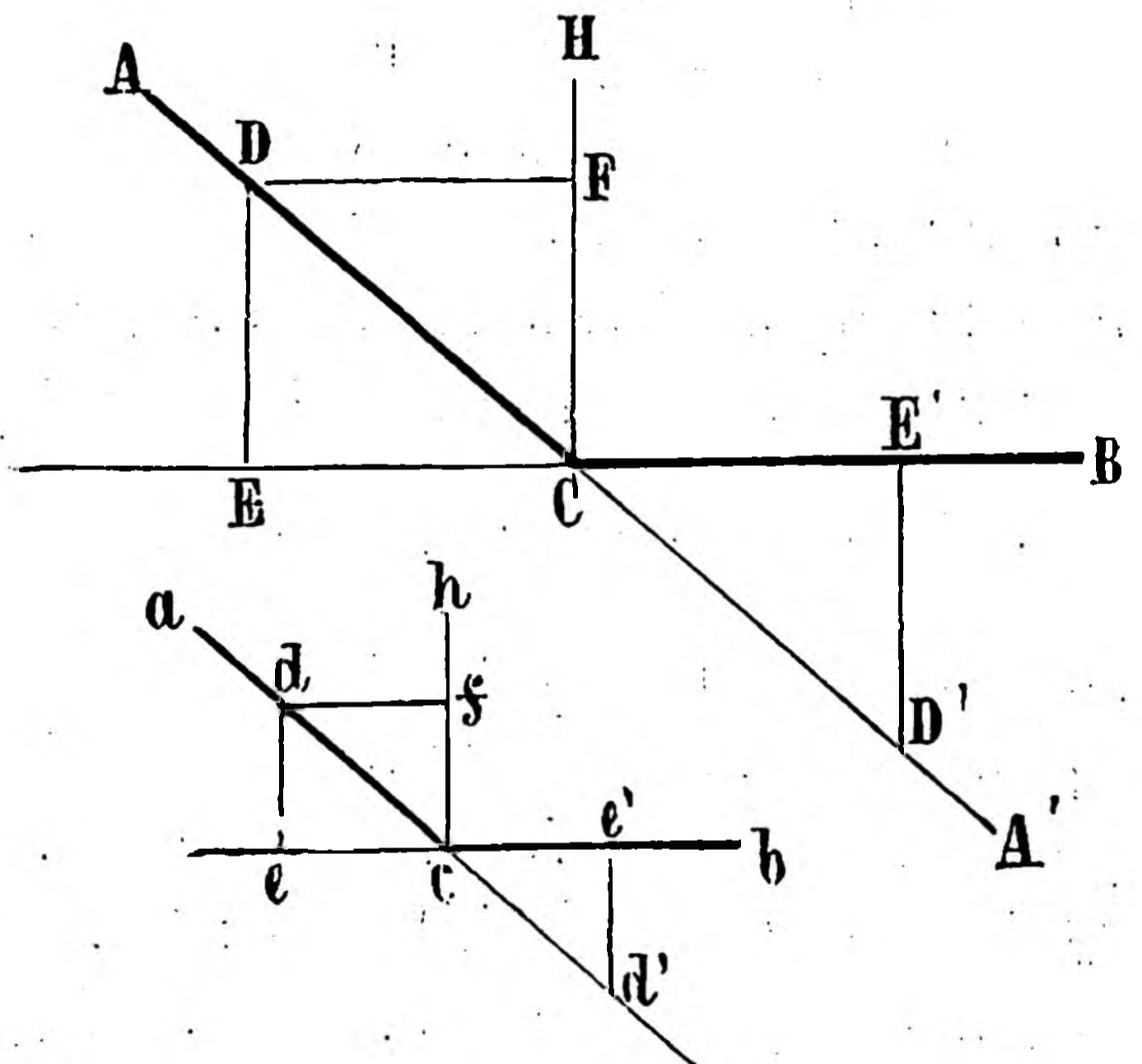
Если за мѣстнымъ препятствіемъ невозможно проведеніе перпендикуляра внутри угла или измѣреніе линий  $DE$  и  $CE$ , то произвольная точка  $D'$  избирается на продолженіи стороны  $AC$  и изъ нея опускается перпендикуляръ  $D'E'$  на продолженіе стороны  $BC$ . Ясно, что измѣренныя длины  $CF'$  и  $F'D'$  достаточны для опредѣленія угла  $ACB$ .

Для опредѣленія тупаго угла  $ACB$  (черт. 254) изъ точки  $D$ , взятой на сторонѣ  $AC$ , опускаютъ перпендикуляръ  $DE$  на продолженіе стороны  $BC$  и измѣряютъ длины  $CE$  и  $DE$ . Или, все равно, на продолженіи стороны  $AC$  берутъ произвольную точку  $D'$ , опускаютъ изъ нея перпендикуляръ  $D'E'$  на сторону  $BC$  и измѣряютъ  $CE'$  и  $E'D'$ .

Черт. 253.



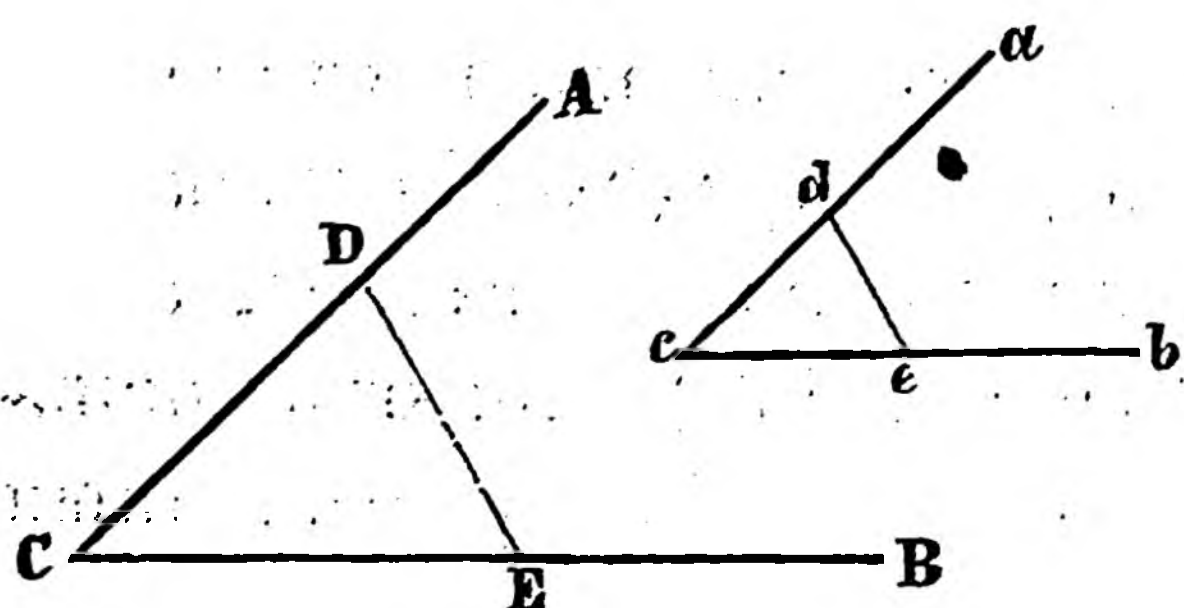
Черт. 254.



Въ случаѣ невозможности продолженія линий  $AC$  и  $BC$ , для опредѣленія угла  $ACB$  или  $A'CB'$  (черт. 253 и 254) возставляютъ перпендикуляръ  $CH$  къ линіи  $CB$  и выбравъ точку  $D$  опускаютъ перпендикуляръ  $DF$ ; послѣ чего измѣряютъ длины  $DF$  и  $FC$ .

Можно опредѣлить уголъ  $ACB$  (черт. 255) также и безъ посредства

Черт. 255.



экера, для чего достаточно взять на сторонахъ его произвольныя точки  $D$  и  $E$  и измѣрить длины  $CD$ ,  $DE$  и  $EC$ . Построеніемъ на бумагѣ треугольника  $dce$  по тремъ даннымъ его сторонамъ опредѣлится величина угла  $ACB$ . Этотъ способъ опредѣленія угла, ничего не выигрывающій по отношенію къ точности, про-

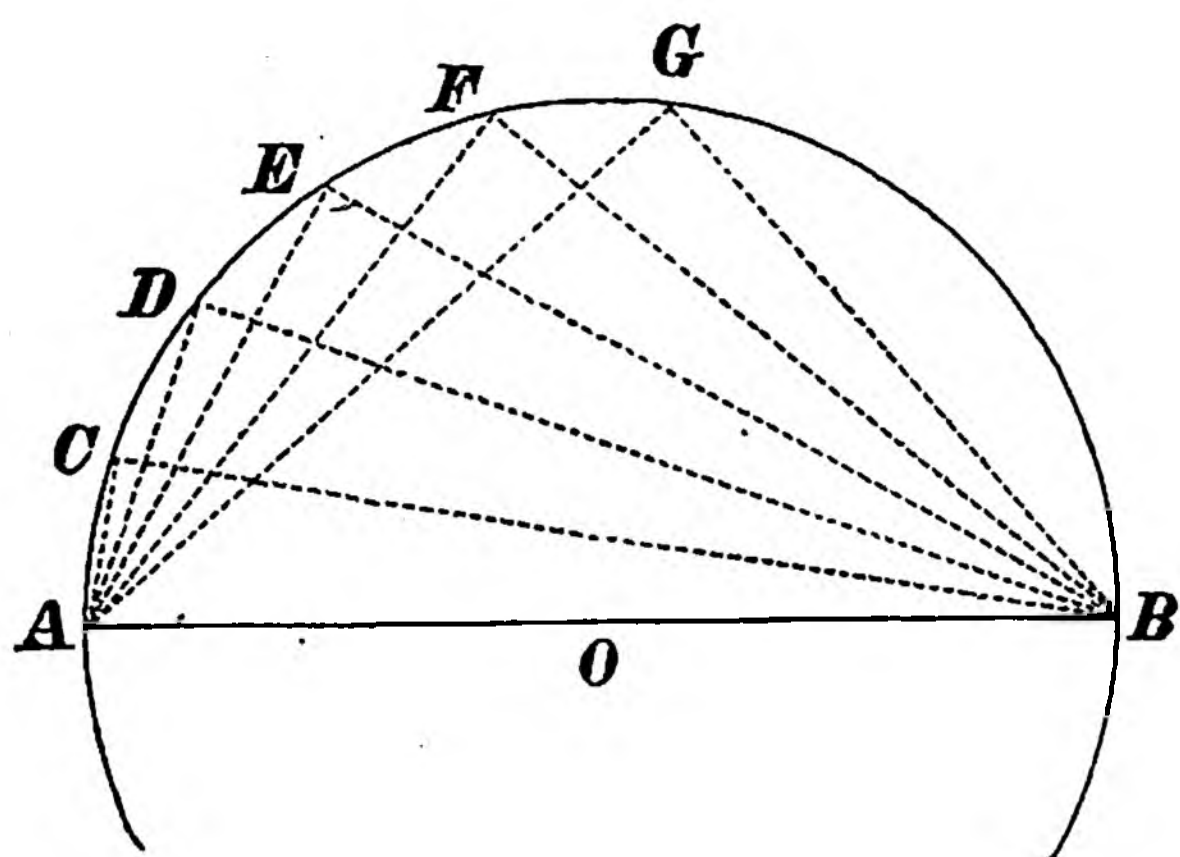
должительнѣе предыдущихъ, а потому послѣдніе ему предпочитаютъ.

Относительно всѣхъ предыдущихъ способовъ нужно обратить вниманіе на то, что построеніе треугольника на бумагѣ надо производить

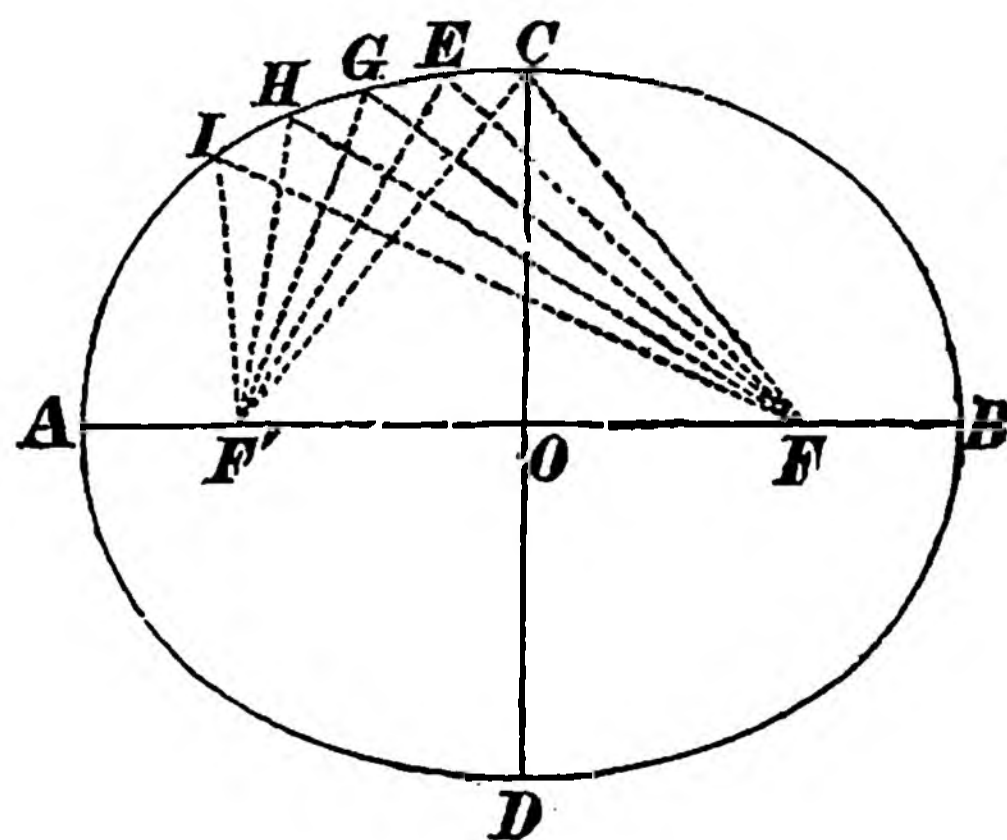
въ возможно болѣе крупномъ масштабѣ (напр. 1 саж. въ англ. дюймѣ). Необходимость этого видна изъ слѣдующаго: точки  $D$  и  $E$  на сторонахъ треугольника лежатъ въ разстояніи меньшаго числа саженъ отъ вершины  $C$  опредѣляемаго угла, а съ другой стороны тѣмъ лучше на бумагѣ можно приложить ребро линейки къ двумъ точкамъ, чѣмъ онѣ далѣе отстоятъ другъ отъ друга; вслѣдствіе чего для болѣе точнаго опредѣленія угла надо, чтобы стороны его были на бумагѣ возможно длиннѣе.

**§ 131.** *Назначеніе на мѣстности правильныхъ фигуръ: окружности, эллипсиса, прямоугольниковъ и треугольниковъ.* Для назначенія или, какъ говорятъ, разбивки на мѣстности окружности съ радіусомъ въ нѣсколько единицъ саженъ поступаютъ такъ: въ центрѣ  $O$  (черт. 256) окружности укрѣпляютъ одинъ конецъ веревки, длина которой равна данной длинѣ радіуса, а другой конецъ веревки берутъ въ руку и натянувъ ее обозначаютъ на мѣстности колышками точки  $C, D, E, \dots$  равноудаленныя отъ центра  $O$  и находящіяся на такомъ близкомъ другъ отъ друга разстояніи, чтобы  $AC, CD, DE, \dots$  могли быть принимаемы за линіи прямыя.

Черт. 256.



Черт. 257.



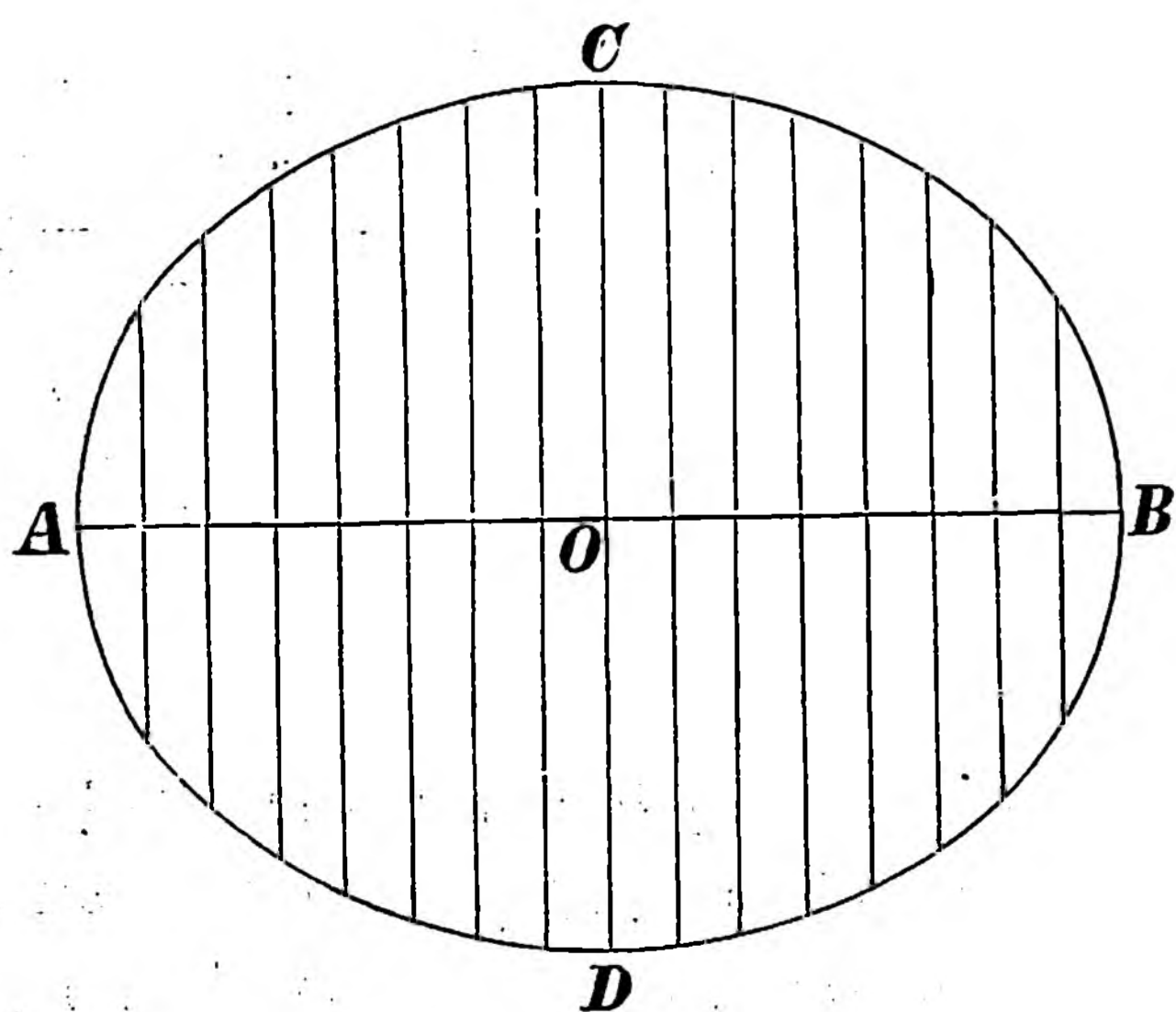
Этотъ способъ примѣнимъ тогда, когда центръ  $O$  доступенъ; если же требуется напр. разсадить деревья кругомъ пруда, обнести заборомъ строеніе и т. п., когда даны только концы діаметра  $AB$ , тогда при помощи экера отыскиваютъ на мѣстности и обозначаютъ колышками такія точки  $C, D, E, \dots$  чтобы ставъ въ нихъ послѣдовательно съ экеромъ видно было что линія  $AC$  перпендикулярна къ  $BC$ , линія  $AD$  перпендикулярна къ  $BD$ , линія  $AE$  перпендикулярна къ  $BE$  и т. д. Понятно, что это примѣнимо и тогда, когда центръ  $O$  хотя и доступенъ, но данный радіусъ окружности настолько великъ, что описаніе ея на мѣстности посредствомъ веревки неудобно. Въ этомъ случаѣ нужно прежде всего провѣсить и отмѣрить на мѣстности данный діаметръ, а затѣмъ уже получивъ концы  $A$  и  $B$  діаметра продолжать по предыдущему.

Если требуется на мѣстности разбить эллипсисъ, большая и малая оси котораго даны, то измѣряютъ длину большой оси  $AB$  (черт. 257), дѣлятъ ее пополамъ въ точкѣ  $O$  и возставляютъ къ ней перпендикуляръ  $CD$ , на которомъ откладываютъ въ обѣ стороны отъ  $O$  по поло-

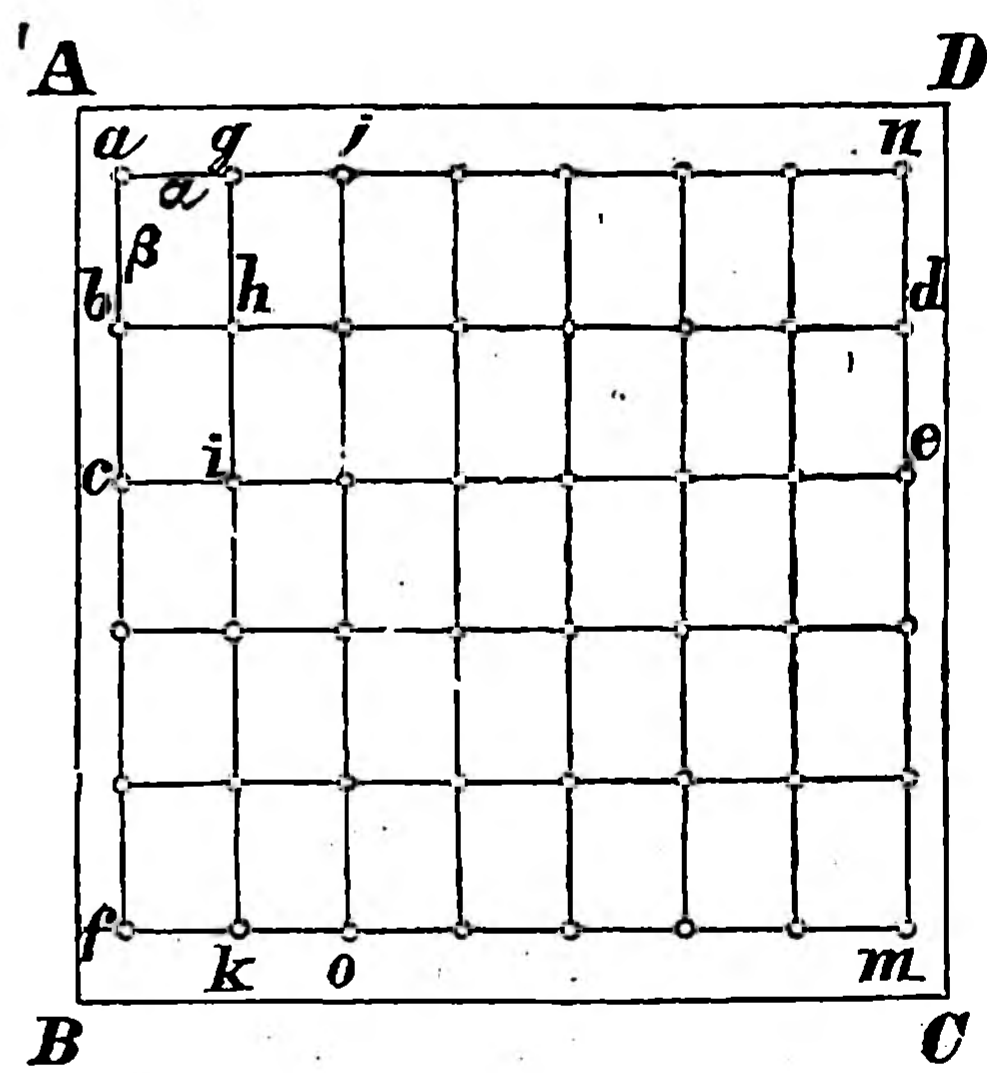
винъ малой оси. Затѣмъ взявъ веревку длиною равною большой оси  $AB$ , укрѣпляютъ ее концами въ точкахъ  $C$  и  $D$ , натягиваютъ ее и находятъ на оси  $AB$  фокусы  $F$  и  $F'$  эллипсиса. Наконецъ укрѣпивъ концы той же веревки въ  $F$  и  $F'$ , натягиваютъ ее и забиваютъ колышки въ тѣхъ точкахъ  $E, G, H, I, \dots$  сумма разстояній которыхъ до обоихъ фокусовъ  $F$  и  $F'$  равна длинѣ всей веревки или, все равно, длинѣ большой оси  $AB$ . Очевидно, что опредѣленные такимъ образомъ точки  $E, G, H, I, \dots$  принадлежатъ искомому эллипсису.

Если размѣры эллипсиса настолько велики, что опредѣленіе отдѣльныхъ его точекъ по предыдущему способу посредствомъ веревки невозможно, то чертятъ требуемый эллипсисъ на бумагѣ въ крупномъ масштабѣ, дѣлятъ большую ось его на равныя части, возставляютъ въ точкахъ дѣленія перпендикуляры къ большой оси и измѣривъ длины этихъ перпендикуляровъ отъ большой оси до эллипсиса подписываютъ ихъ на перпендикулярахъ (черт. 258). Послѣ того отмѣриваютъ на мѣстности длину большой оси, замѣчаютъ на ней точки въ разстояніи, равномъ взаимному разстоянію перпендикуляровъ на бумагѣ, проводятъ посредствомъ экера чрезъ эти точки перпендикуляры къ большой оси и откладываютъ на нихъ длины, подписанныя на бумагѣ.

Черт. 258.



Черт. 259.



Въ хозяйствѣ встрѣчается надобность разсадить деревья или кустарники на данномъ участкѣ прямоугольниками или равносторонними треугольниками. При разсадкѣ прямоугольниками должно быть дано какъ разстояніе между сосѣдними деревьями одного и того же ряда, такъ и разстояніе между рядами деревьевъ. Если первое изъ нихъ есть  $\alpha$ , а второе —  $\beta$ , то для разбивки участка  $ABCD$  (черт. 259) на прямоугольники провѣшиваютъ на немъ линію  $an$ , отступающую отъ края  $AD$  приблизительно на половину разстоянія между рядами деревьевъ. Это дѣлается съ тою цѣлью, чтобы вѣтви деревьевъ не заходили впоследствии за границы участка. На линіи  $an$  откладываютъ предполагаемое разстояніе между деревьями, въ нашемъ случаѣ длину  $\alpha$  столько разъ, чтобы послѣдняя точка  $n$  опять не доходила до границы  $DC$  по крайней мѣрѣ на  $\frac{1}{2} \beta$ . Въ точкахъ отложенія:  $a, g, j, \dots, n$  вбиваютъ колышки.

Послѣ того возставляютъ перпендикуляры  $af$  и  $nt$  къ линіи  $an$  и откладываютъ на нихъ длину  $\beta$ , повторенную цѣлое число разъ. Полученная фигура  $anmf$  должна быть прямоугольникомъ; для повѣрки мѣряютъ разстояніе между  $f$  и  $m$ , которое должно быть равно длинѣ  $an$ , и провѣряютъ прямые углы въ точкахъ  $f$  и  $m$ . Окончивъ это забиваютъ колышки  $b, c, \dots d, e, \dots$  на линіяхъ  $af$  и  $nt$  на взаимныхъ разстояніяхъ равныхъ  $\beta$  и сбоку ихъ ставятъ вѣхи. Наконецъ заставивъ рабочихъ выставить 2 вѣхи послѣдовательно въ точкахъ  $g$  и  $k, j$  и  $o, \dots$  отыскиваютъ посредствомъ экера точки  $h, i, \dots$  пересѣченія линіи  $gk, jo, \dots$  съ линіями  $bd, ce, \dots$ . Мѣста вбитыхъ колышковъ суть мѣста посадки деревьевъ.

Подобнымъ же образомъ можно разбить на данномъ участкѣ квадраты; только тогда  $\alpha = \beta$ .

При разбивкѣ на участкѣ  $ABCD$  (черт. 260) равностороннихъ треугольниковъ дается только разстояніе  $ag = \alpha$  между деревьями, разстояніе же  $ab = h$  между рядами ихъ должно быть вычислено. Дѣйствія начинаются, какъ и въ предыдущемъ,

съ назначенія на мѣстности прямоугольника  $afmn$ , стороны котораго  $an$  и  $af$  равны длинамъ  $\alpha$  и  $h$ , повтореннымъ цѣлое, хотя и не одинаковое, число разъ. На линіяхъ  $an, co, eq, \dots$  отстоящихъ другъ отъ друга на  $2h$ , откладывается отъ начальныхъ точекъ длина  $\alpha$  и во всѣхъ точкахъ:  $a, g, \dots c, s, \dots e, u, \dots$  забиваются колышки; на линіяхъ же  $bl, dp, \dots$ , отстоящихъ отъ  $an, co, \dots$  на  $h$ , откладывается сначала по  $\frac{1}{2}\alpha$ , а

потомъ — по  $\alpha$ ; при чемъ колышки забиваются только въ точкахъ, отстоящихъ другъ отъ друга на  $\alpha$ , какъ это показано на чертежѣ, гдѣ мѣста колышковъ обозначены кружками. Покажемъ теперь какъ вычислить  $h$  по данному  $\alpha$ : изъ равносторонняго треугольника  $akg$  имѣемъ

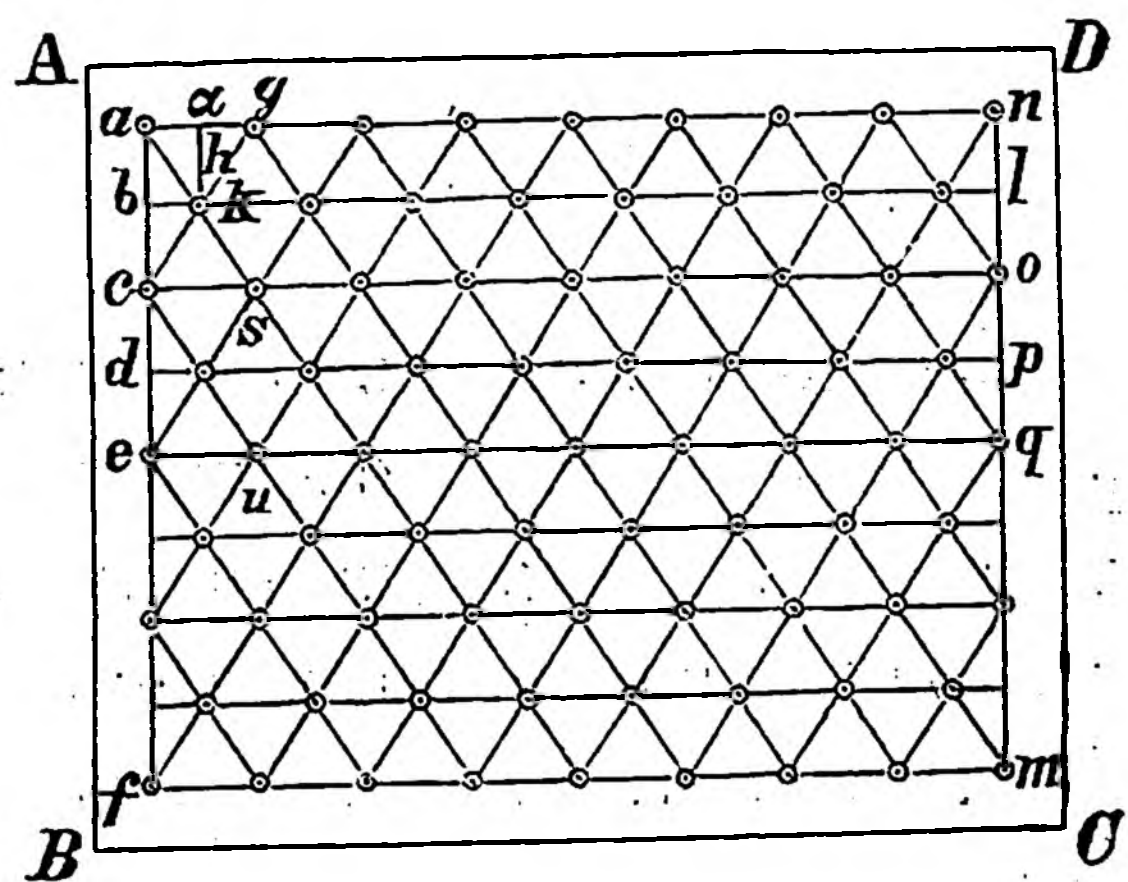
$$h = \sqrt{ak^2 - (\frac{1}{2}ag)^2} = \sqrt{\alpha^2 - \frac{1}{4}\alpha^2} = \frac{\sqrt{3}}{2}\alpha = 0,866\alpha.$$

Если напр.  $\alpha = 0,5$  саж., то  $h = 0,866 \times 0,5 = 0,433$  саж.

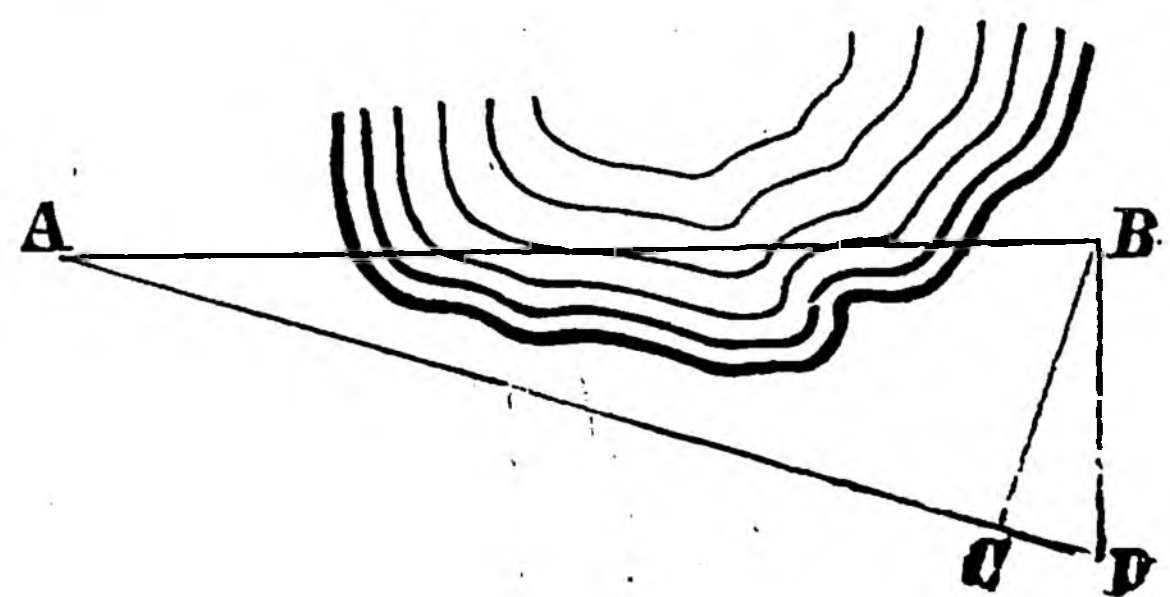
**132. Определение непрístupныхъ разстояній.** При этомъ бываютъ 3 случая: а) когда конечныя точки непрístupнаго разстоянія доступны, б) когда доступна только одна изъ конечныхъ точекъ и с) когда все разстояніе непрístupно.

а) Точки  $A$  и  $B$  (черт. 261) доступны, требуется опредѣлить разстояніе между ними. Для этого провѣшиваютъ изъ  $A$

Черт. 260.



Черт. 261.



такую линію  $AD$ , которая минуеъ препятствіе и по которой можно производить измѣреніе; на этой линіи находятъ подошву  $C$  перпендикуляра, опущеннаго изъ  $B$ , и измѣряютъ длины  $AC = b$  и  $BC = a$ ; тогда искомое разстояніе  $AB = x$  опредѣлится изъ равенства

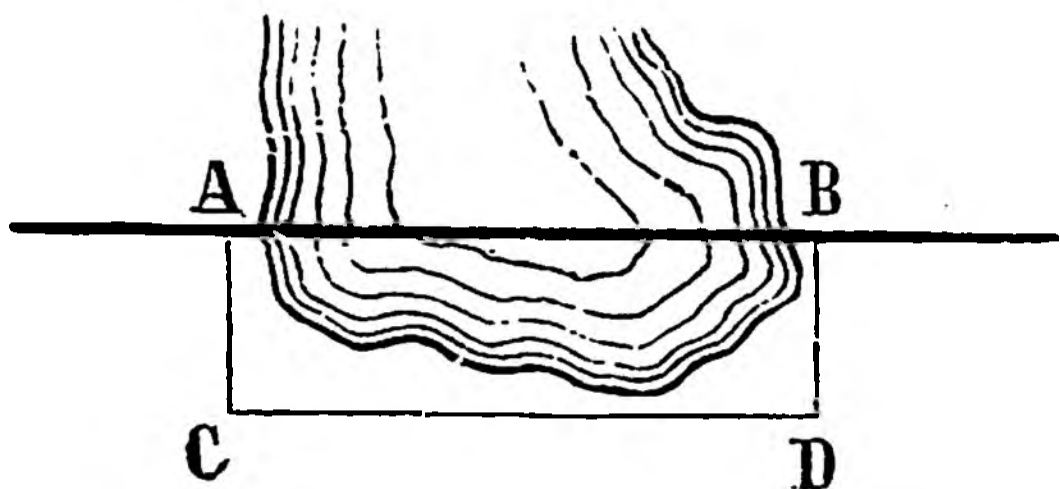
$$x = \sqrt{a^2 + b^2}.$$

Или: возставивъ изъ  $B$  перпендикуляръ  $BD$  къ  $AB$ , берутъ на немъ точку  $D$  и измѣряютъ длины  $BD = a$  и  $AD = b$ ; тогда  $AB = x$  будетъ

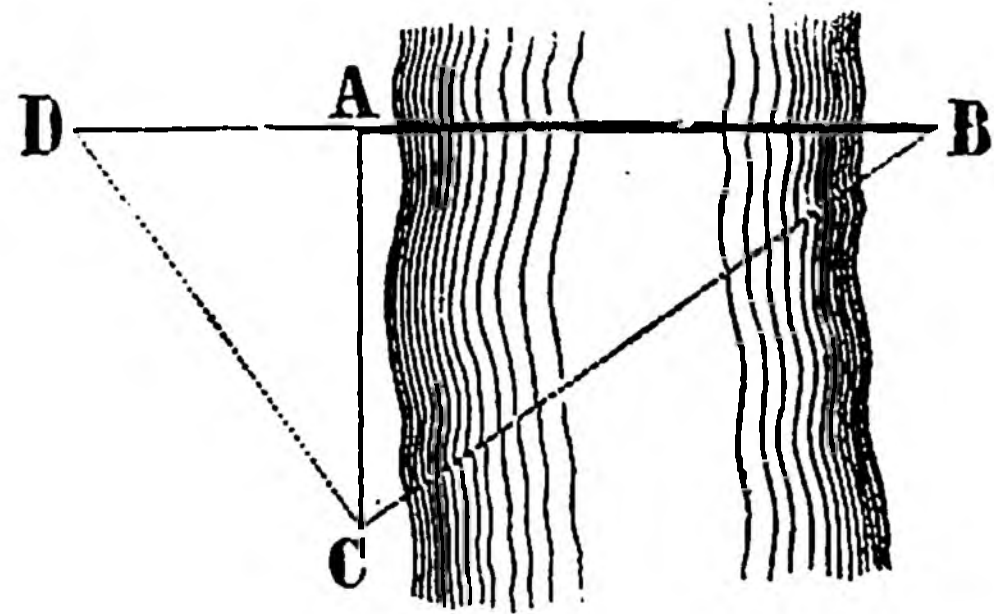
$$x = \sqrt{b^2 - a^2}.$$

Или: если препятствіе не велико, то возставивъ перпендикуляры  $AC$  и  $BD$  (черт. 262) къ линіи  $AB$  откладывая на нихъ равныя части и измѣряютъ  $CD$ , которая и выразитъ длину непреступнаго разстоянія  $AB$ .

Черт. 262.



Черт. 263.



б) Доступна только точка  $A$  (черт. 263) и требуется опредѣлить разстояніе  $AB$ . Возставляютъ изъ  $A$  перпендикуляръ  $AC$ , берутъ на немъ произвольную точку  $C$ , возставляютъ въ  $C$  перпендикуляръ  $CD$  къ  $BC$  и замѣчаютъ точку пересѣченія его  $D$  съ продолженіемъ линіи  $BA$ . Наконецъ измѣривъ  $AC$  и  $AD$ , получаютъ искомое разстояніе изъ равенства

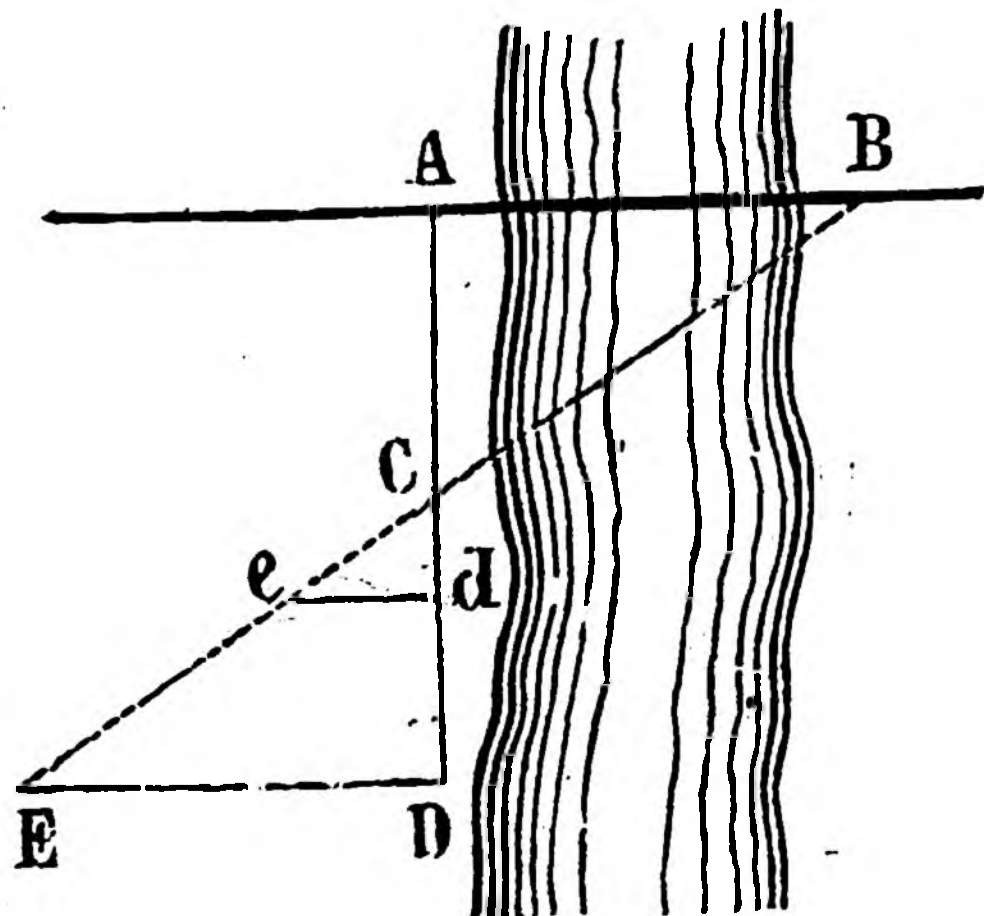
$$AB = \frac{AC^2}{AD},$$

ибо перпендикуляръ, опущенный изъ вершины прямого угла на гипотенузу, есть средняя пропорціональная между отрѣзками ея, т. е.

$$AB : AC = AC : AD;$$

откуда получается предыдущее равенство.

Черт. 264.

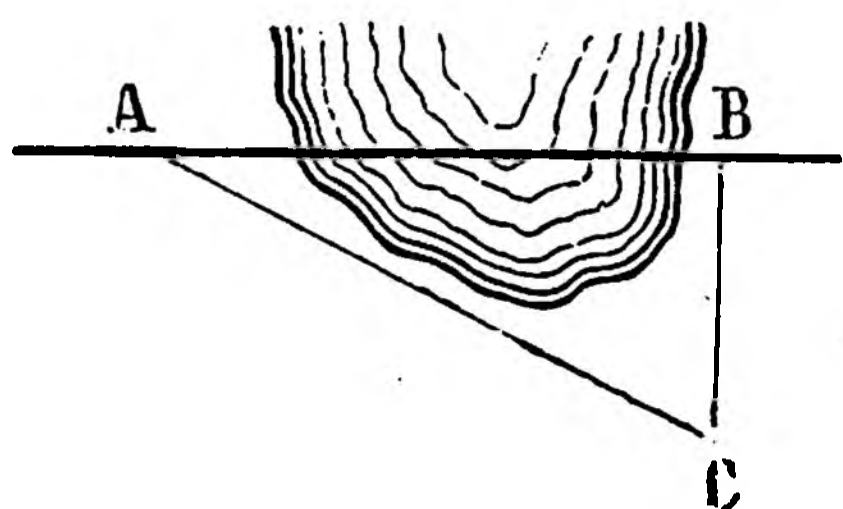


Другой способъ рѣшенія задачи состоитъ въ слѣдующемъ: изъ точки  $A$  (черт. 264) возставляютъ перпендикуляръ къ  $AB$ , откладывая на немъ произвольныя, но равныя между собою  $AC$  и  $CD$  и возставляютъ изъ  $D$  перпендикуляръ, на которомъ опредѣляютъ точку  $E$  пересѣченія его съ продолженіемъ линіи  $BC$ . Такъ какъ вслѣдствіе равенства треугольниковъ  $ABC$  и  $CDE$  сторона  $ED = AB$ , то измѣривъ длину  $ED$  получимъ искомое разстояніе  $AB$ .

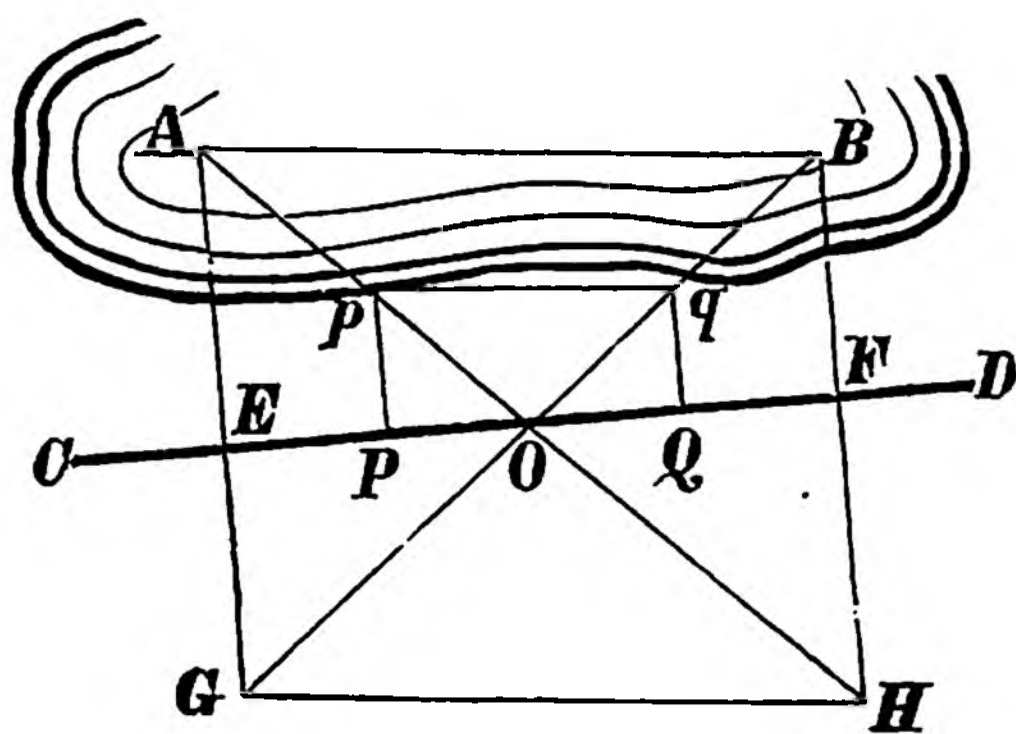
Иногда измеривъ длину  $AC$  откладываютъ на ея продолженіи часть  $Cd = \frac{1}{n} AC$  и возставляютъ перпендикуляръ  $de$ , измеривъ который получается длина въ  $n$  разъ меньшая противъ искомага разстоянія  $AB$ . Этого приема должно вообще избѣгать, ибо въ искомое разстояніе войдетъ ошибка въ  $n$  разъ большая неизбѣжной ошибки полученія линіи  $de$ .

Наконецъ если съемщикъ имѣетъ экеръ, посредствомъ котораго можно проводить линіи подъ угломъ въ  $45^\circ$ , то на перпендикулярѣ  $BC$  (черт. 265) къ линіи  $AB$  находятъ такую точку  $C$ , въ которой этотъ перпендикуляръ пересѣкается линіею  $AC$  подъ угломъ въ  $45^\circ$ . Измѣренная непосредственно длина линіи  $BC$  выразитъ длину неприступнаго разстоянія  $AB$ .

Черт. 265.



Черт. 266.



с) Въ третьемъ случаѣ предполагается, что все искомое разстояніе неприступно. Положимъ, что линія  $AB$  (черт. 266) неприступна на всемъ своемъ протяженіи. Для опредѣленія длины ея выберемъ на мѣстности такую линію  $CD$ , по которой можно производить измѣреніе. Опредѣлимъ на ней подошвы  $E$  и  $F$  перпендикуляровъ  $AE$  и  $BF$ , опущенныхъ изъ точекъ  $A$  и  $B$ . Раздѣлимъ  $EF$  пополамъ въ точкѣ  $O$ . Продолжимъ линіи  $AO$  и  $BO$  до пересѣченія съ продолженіями перпендикуляровъ  $BF$  и  $AE$  въ точкахъ  $H$  и  $G$ . Тогда изъ равенства треугольниковъ  $AEO$  и  $OEH$ ,  $BFO$  и  $OFG$  заключаемъ о равенствѣ треугольниковъ  $AOB$  и  $GON$ , что даетъ  $GH = AB$ ; а потому измеривъ  $GH$  получимъ искомое  $AB$ .

Если мѣстность не дозволяетъ достаточнаго продолженія перпендикуляровъ  $BF$  и  $AE$  или непосредственное измѣреніе линіи  $GH$ , то откладываютъ на  $OE$  и  $OF$  части:  $OP = OQ = \frac{1}{n} OE = \frac{1}{n} OF$ , возставляютъ изъ  $P$  и  $Q$  перпендикуляры до пересѣченія съ  $AO$  и  $BO$  и измѣряютъ длину  $pq$ , которая очевидно есть  $\frac{1}{n} AB$ . Здѣсь опять нужно разсчитывать на то, что неизбѣжныя ошибки войдутъ въ результатъ увеличенными въ  $n$  разъ. А потому въ этомъ случаѣ точнѣе будетъ такой способъ: посредствомъ экера найдемъ на мѣстности точку  $C$  (черт. 267), лежащую на окружности, имѣющей діаметромъ  $AB$ . Черезъ  $C$  проведемъ прямую  $DE$ , составляющую съ  $CA$  и  $CB$  углы въ  $45^\circ$ , для чего на сторонахъ  $CA$  и  $CB$  угла  $ACB$ , равнаго  $90^\circ$ ,



отложимъ равныя между собою части  $CM$  и  $CN$ , раздѣлимъ  $MN$  пополамъ въ точкѣ  $O$  и возставимъ къ  $OC$  перпендикуляры  $CD$  и  $CE$ . Линія  $DE$ , составляющая съ  $CA$  и  $CB$  углы въ  $45^\circ$ , представляетъ ту повѣрку, что точки  $D$ ,  $C$  и  $E$  должны лежать на одной прямой. Наконецъ изъ  $A$  и  $B$  опускаютъ перпендикуляры на  $DE$ . Если  $D$  и  $E$  суть подошвы этихъ перпендикуляровъ, то измѣривъ  $DC = m$  и  $CE = n$  найдемъ искомое разстояніе  $AB = x$ :

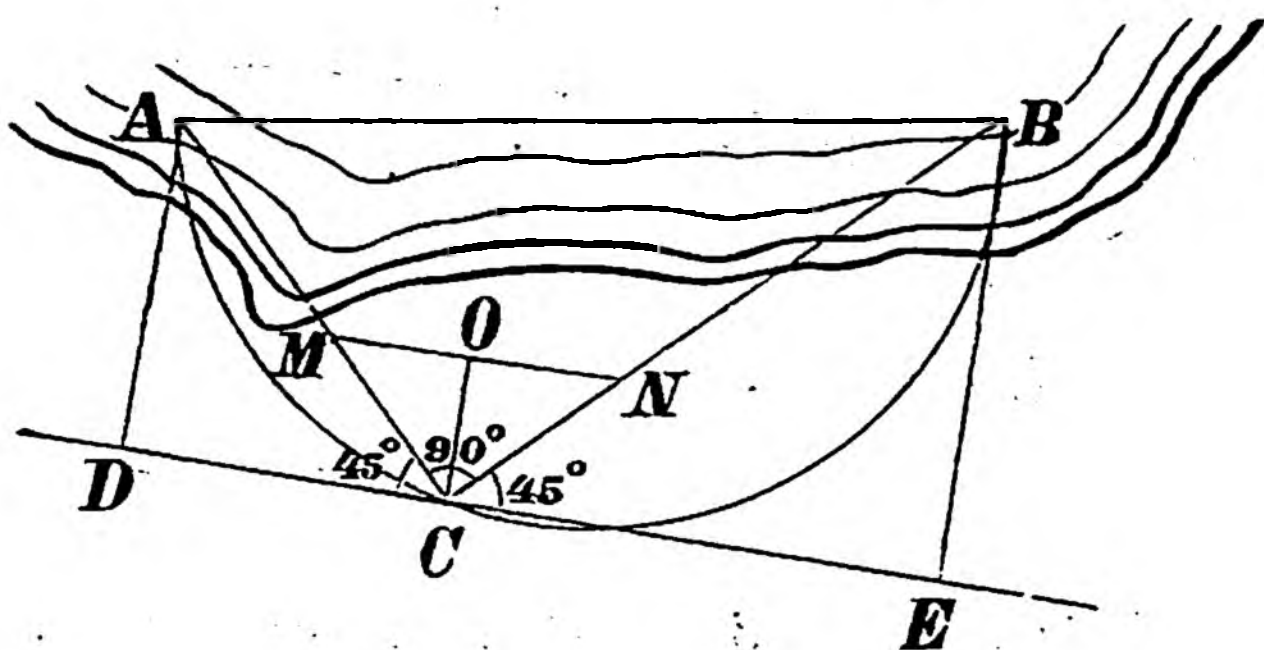
$$x = \sqrt{2(m^2 + n^2)},$$

ибо  $AC^2 = 2m^2$  и  $BC^2 = 2n^2$ ; поэтому  $AB^2 = AC^2 + BC^2 = 2(m^2 + n^2)$  и

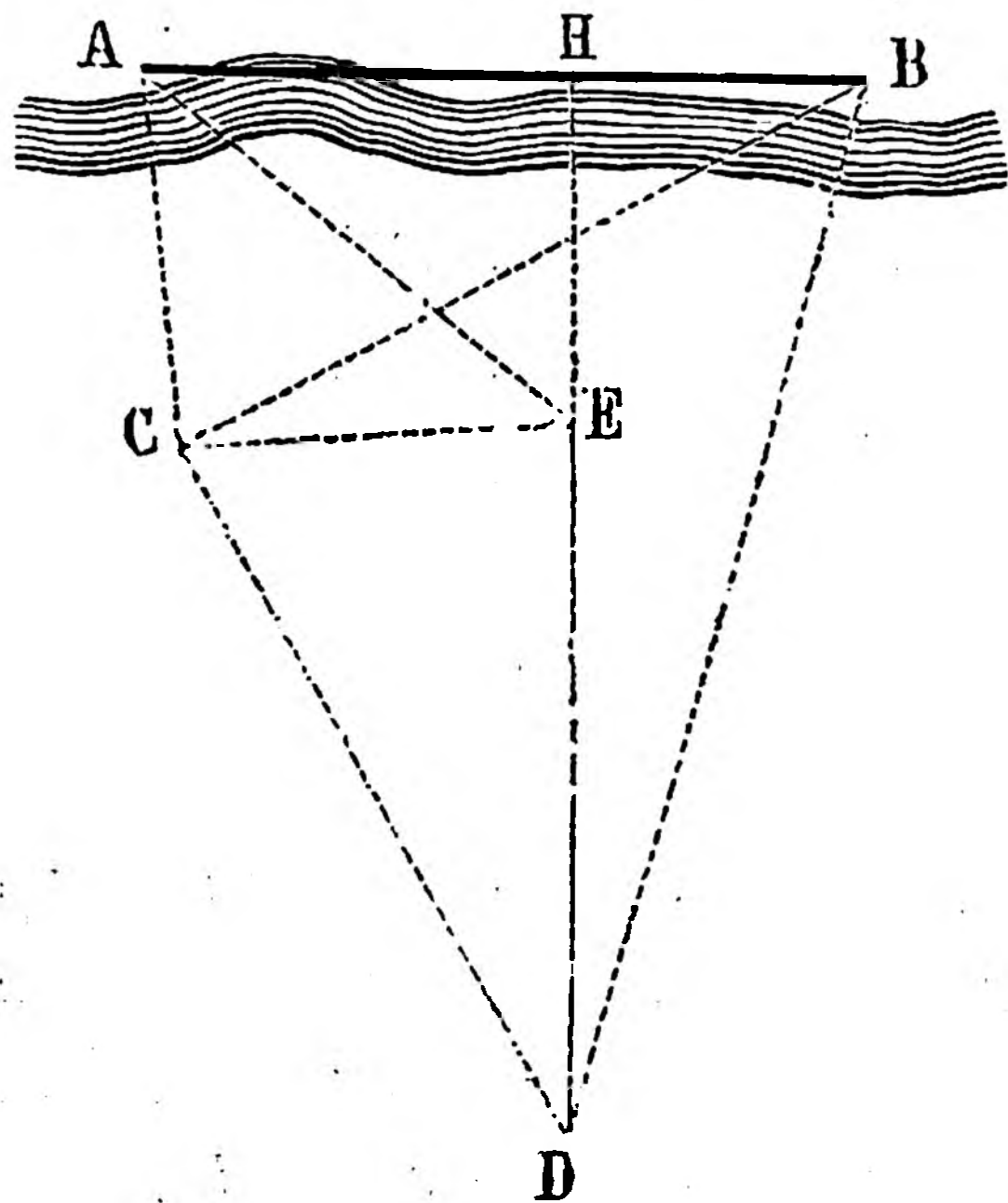
$$AB = x = \sqrt{2(m^2 + n^2)}.$$

Если съемщикъ располагаетъ экеромъ съ углами въ  $45^\circ$ , то назначеніе

Черт. 267.



Черт. 268.



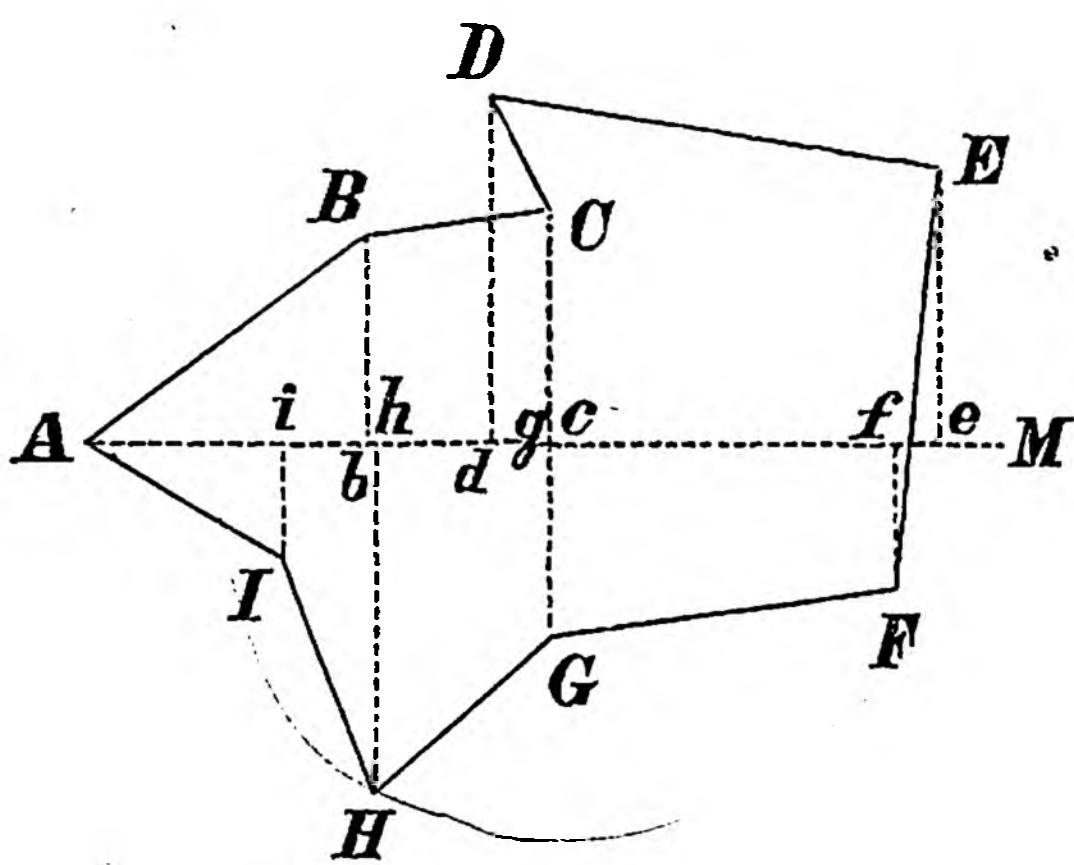
на мѣстности линіи  $DE$  дѣлается проще и не вызываетъ надобности въ отложеніи частей  $CM$  и  $CN$ .

Рѣшеніе той же задачи экеромъ съ углами въ  $45^\circ$  можетъ быть произведено и такъ: пусть  $AB$  (черт. 268) есть неприступное разстояніе; выбираютъ точку  $C$ , возставляютъ къ  $CA$  и  $CB$  перпендикуляры  $CE$  и  $CD$  и опредѣляютъ на нихъ точки  $E$  и  $D$ , въ которыхъ эти перпендикуляры пересѣкаются линіями  $AE$  и  $BD$  подъ углами въ  $45^\circ$ . Остается измѣрить линію  $ED$ , которая равна  $AB$ . Это видно изъ равенства треугольниковъ  $ABC$  и  $EDC$ , въ которыхъ  $CE = AC$ ,  $CD = CB$  и уг.  $ACB =$  уг.  $ECD$ . Полученная такимъ путемъ линія  $DE$ , кромѣ своего равенства съ линіею  $AB$ , также и перпендикулярна къ ней. Въ самомъ дѣлѣ, въ четырехугольникѣ  $ACEH$ , въ которомъ  $EH$  есть продолженіе линіи  $DE$ , имѣемъ уг.  $CEH +$  уг.  $CAH = 180^\circ$  (ибо уголъ  $CED =$  уг.  $CAB$ ); вслѣдствіе чего уг.  $ACE +$  уг.  $AHE = 180^\circ$ . Но такъ какъ уг.  $ACE = 90^\circ$ , то уг.  $AHE$  тоже прямой. Вслѣдствіе этого послѣдняго свойства линіи  $DE$  относительно  $AB$ , можно чрезъ произвольную точку провести линію перпендикулярную къ неприступной прямой  $AB$ , для чего нужно только, совершивъ предыдущее построеніе для полученія линіи  $DE$ , провести чрезъ данную точку параллель къ  $DE$ .

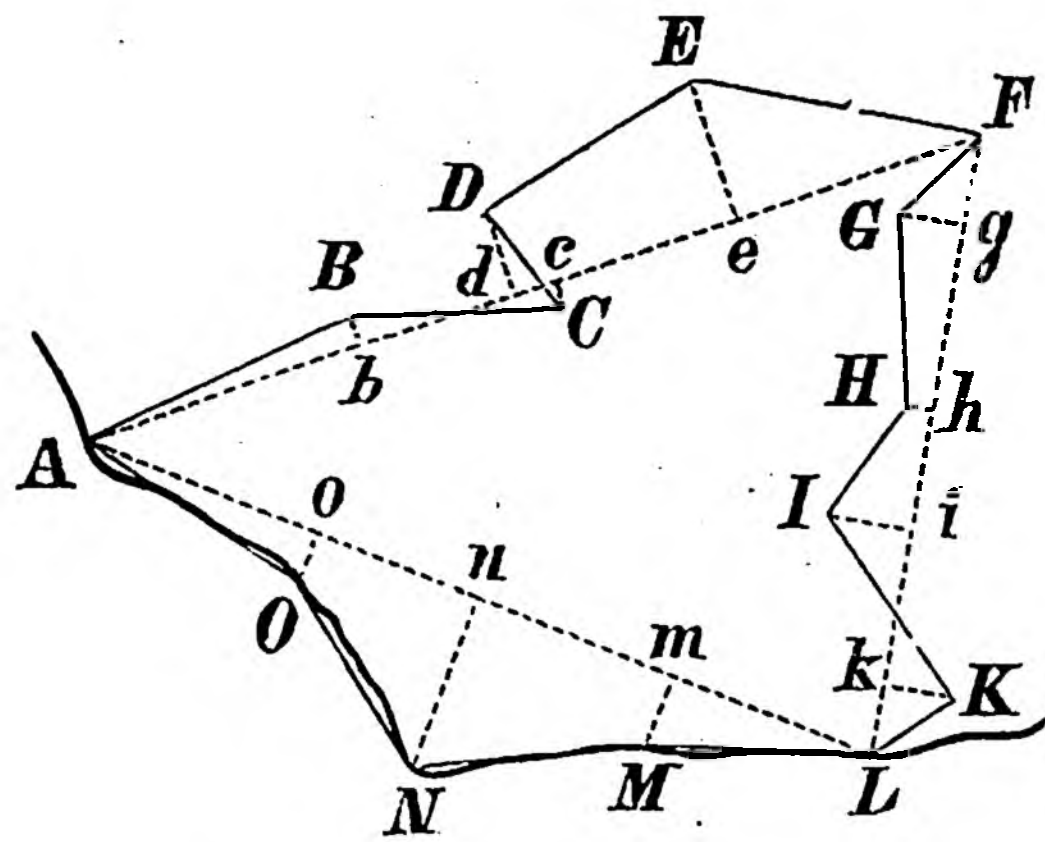
§ 133. *Съемка экеромъ.* Экеръ можно употреблять при съемкѣ или какъ самостоятельный, или какъ вспомогательный инструментъ при другихъ болѣе точныхъ инструментахъ. Въ первомъ случаѣ вслѣдствіе невысокой точности проведенія экеромъ перпендикуляровъ кругъ дѣйствія имъ весьма ограниченъ; тѣмъ не менѣе иногда (за отсутствіемъ сравнительно дорогихъ угломѣрныхъ инструментовъ) можно производить имъ съемку небольшихъ по площади контуровъ; при этомъ употребляютъ два способа: или способъ координатъ, или способъ обхода.

*Способъ координатъ* состоитъ въ провѣшеніи на мѣстности вдоль всего контура линіи, служащей *осью абсциссъ*, и въ опредѣленіи отдѣльныхъ точекъ контура относительно этой линіи посредствомъ перпендикуляровъ (*ординатъ*). Напр. если съемкѣ подлежитъ прямолинейный контуръ  $ABCD\dots IA$  (черт. 269), то чрезъ точку  $A$  провѣшиваютъ линію  $AM$  такъ, чтобы она дѣлила контуръ приблизительно пополамъ. Эту линію измѣряютъ и въ то же время опускаютъ на нее перпендикуляры изъ всѣхъ вершинъ контура; при чемъ замѣчаютъ разстоянія подошвъ:  $i$ ,

Черт. 269.



Черт. 270.



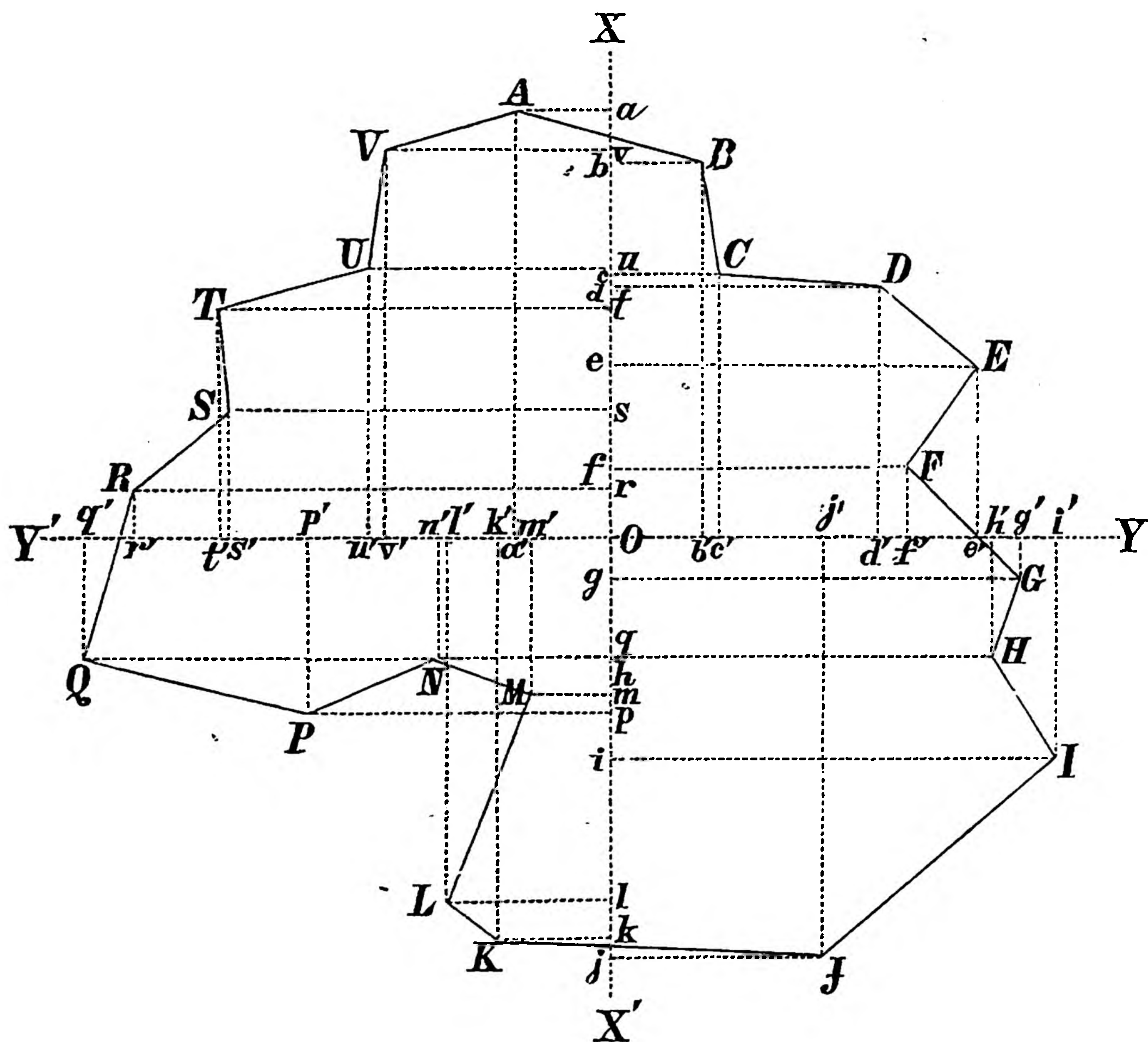
$b, h, d, \dots e$  перпендикуляровъ отъ точки  $A$  и измѣряютъ длины самыхъ перпендикуляровъ:  $iI, bB, hH, dD, \dots$

Для построенія этого контура на бумагѣ проводятъ на ней линію, на которой откладываютъ въ данномъ масштабѣ длины:  $Ai, Ab, Ah, \dots$ , изъ полученныхъ точекъ:  $i, b, h, \dots$  возставляютъ перпендикуляры и откладываютъ на нихъ въ томъ же масштабѣ длины:  $iI, bB, hH, \dots$ . Соединивъ на бумагѣ прямыми точки, соотвѣтствующія точкамъ  $A, B, C, D, \dots$  мѣстности, получимъ контуръ, подобный контуру мѣстности.

Иногда выгоднѣе провѣшить отъ  $A$  (черт. 270) двѣ абсциссныя линіи  $AF$  и  $AL$ , концы которыхъ  $F$  и  $L$  соединить прямою, и получить такимъ образомъ на мѣстности треугольникъ  $AFL$ , стороны котораго ближе подходя къ контуру послужатъ къ опредѣленію его помощью координатъ. Такъ какъ всѣ три стороны треугольника  $AFL$  будутъ измѣрены, то построеніе его на бумагѣ производится извѣстнымъ геометрическимъ путемъ, послѣ чего наносятся уже точки контура. Для повѣрки построенія треугольника полезно опредѣлить на мѣстности экеромъ углы  $A, F$  и  $L$ . Это проведеніе на мѣстности нѣсколькихъ абсциссныхъ линій въ особенности необходимо, когда границею служитъ кривая линія, какъ напр.  $AONML$ .

Если внутри контура нежелательно производить много измѣреній, въ томъ случаѣ напр. когда нельзя мять траву или другую растительность, то чрезъ контуръ провѣшиваютъ вдоль и поперекъ его двѣ взаимно перпендикулярныя оси  $XX'$  и  $YY'$  (черт. 271). Начиная отъ точки  $O$  пересѣченія этихъ осей, мѣряютъ сначала по одной изъ линий, напр.  $OX$ , и замѣчаютъ длины:  $Or$ ,  $Of$ ,  $Os$ ,....  $Oa$ . Затѣмъ мѣряютъ по  $OX'$ ,  $OY$ ,  $OY'$  и замѣчаютъ разстоянія до подошвъ перпендикуляровъ, опущенныхъ на эти линии изъ вершинъ контура. Тогда каждая изъ этихъ вершинъ будетъ опредѣлена двумя перпендикулярными длинами; такъ, вершина  $A$  опредѣлится длиною  $Oa$ , лежащею на  $OX$ , и длиною  $Oa'$ , находящеюся на  $OY'$ . Для нанесенія снятаго

Черт. 271.



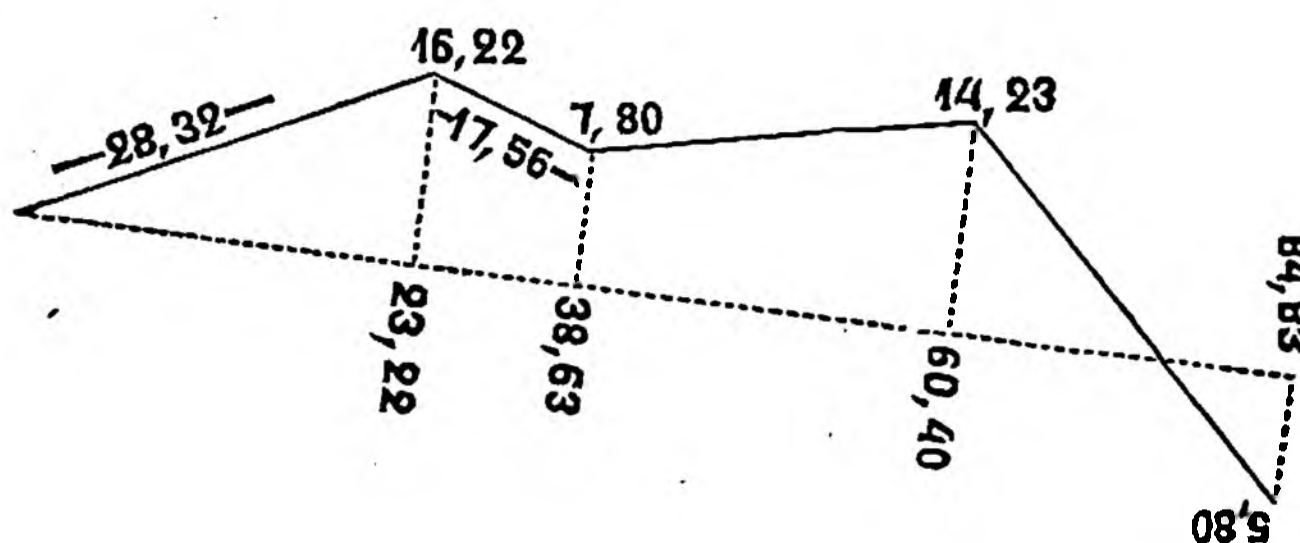
контура на бумагу проводятъ на ней двѣ перпендикулярныя линии, на которыхъ откладываютъ измѣренныя разстоянія до подошвъ перпендикуляровъ, и въ концахъ этихъ разстояній возставляютъ перпендикуляры, взаимныя пересѣченія которыхъ представляютъ вершины контура.

Во всѣхъ предыдущихъ случаяхъ необходимо измѣрить разстоянія между сосѣдними вершинами контура, какъ напр.  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$  на черт. 269, 270 и 271. Это необходимо для повѣрки какъ правильности отложенія на бумагѣ координатъ, такъ и правильности полученія точекъ пересѣченія перпендикуляровъ, въ особенности на черт. 271.

Чтобы для построенія контура на бумагѣ не утруждать память съемщика запоминаніемъ чиселъ, выражающихъ результаты измѣренія линий на мѣстности, обыкновенно при съемкѣ дѣлается отъ руки чертежъ —

абрисъ\*), на которомъ изображаются промѣренныя линіи съ надписанными при нихъ длинами. Существуютъ различныя правила для подписыванія на абрисахъ чиселъ, но наиболѣе удобно подписывать ихъ перпендикулярно къ направленію линіи, на которой лежитъ точка съ относящимся къ ней числомъ; такъ на черт. 272 числа 23, 22; 38, 63; . . . . . перпендикулярны къ оси абсциссъ и соотвѣтствуютъ тѣмъ подошвамъ перпендикуляровъ, при которыхъ они подписаны, числа: 16, 22; 7, 80; . . . . . перпендикулярны къ ординатамъ и подписаны при концахъ ихъ; наконецъ числа: — 28, 32 — ; — 17, 56 — ; . . . . . выражаютъ длины линій между концами ординатъ. Хорошее веденіе

Черт. 272.



абриса совсѣмъ не такъ просто, какъ это кажется съ перваго раза: оно требуетъ большаго навыка и аккуратности. Абрисъ надо вести настолько отчетливо, чтобы онъ былъ понятенъ всякому другому съемщику. При кадастровыхъ съемкахъ въ Пруссіи абрисъ чертится на мѣстности по линейкѣ карандашемъ, а всѣ надписи и цифры подписываются чернилами. Если онъ ведется для всей фигуры въ общей связи, то во всѣхъ его частяхъ соблюдается *одинъ и тотъ же* масштабъ, и притомъ настолько крупный, чтобы всѣ подробности, подлежащія изображенію на планѣ, могли быть на немъ начерчены и сопровождаемы надлежащими цифровыми подписями; если же онъ чертится по частямъ, въ различныхъ мѣстахъ, то эти части могутъ имѣть разные масштабы, смотря по мелкости подробностей, долженствующихъ помѣститься на этихъ частяхъ. Все сказанное здѣсь объ абрисахъ справедливо не только для съемки экерной, но и для всѣхъ другихъ съемокъ.

На черт. 273\*\*) изображенъ абрисъ, веденный при снятіи экеромъ фигуры  $MNPQ$ . При этомъ, какъ видно, была взята абсциссная линія  $AB$ , проходящая чрезъ одну изъ выдающихся вершинъ фигуры, и относительно ея опредѣлены координаты какъ вершинъ  $P$  и  $Q$ , такъ и нѣкоторыхъ угловъ зданій, помѣщающихся внутри. Изгибы фигуры и углы зданій въ верхней ея части опредѣлены относительно линіи  $PQ$ . Повѣрка съемки всей фигуры состоитъ въ томъ, что корень квадратный изъ квадрата разности ординатъ точекъ  $P$  и  $Q$ ,

\*) Нѣмецкое слово *Abris* — чертежъ, очеркъ происходитъ отъ *reissen* — рисовать, чертить.

\*\*) Этотъ чертежъ взятъ съ нѣкоторыми измѣненіями изъ *Handbuch der Vermessungskunde von Dr. W. Jordan* и всѣ длины на немъ выражены въ метрахъ.



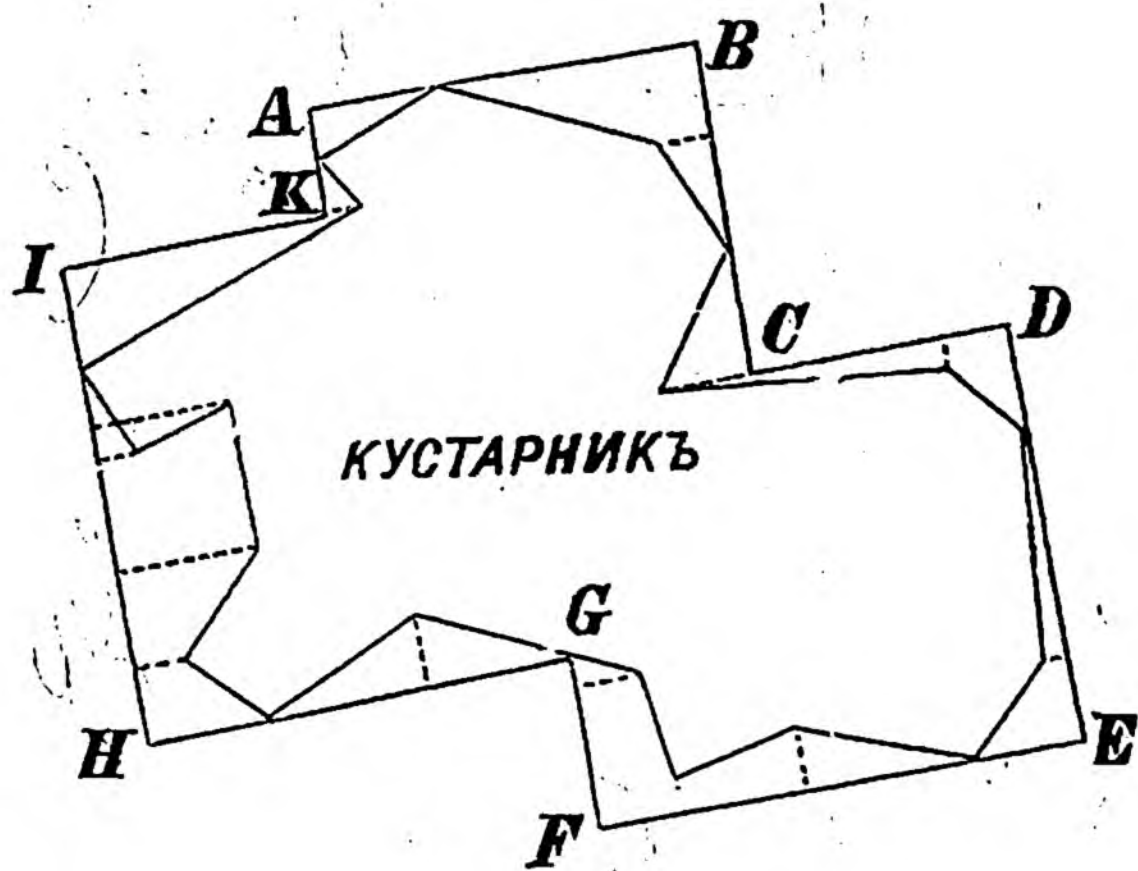
сложенный съ квадратомъ разности абсциссъ тѣхъ же точекъ, долженъ равняться измѣренной длинѣ линіи  $PQ$ . Въ дѣйствительности же имѣемъ:

$$\begin{array}{r} (39,34 - 29,68)^2 = 9,66^2 = 93,22 \\ 84,00^2 = 7056,00 \\ \hline \text{сумма} = 7149,32 \\ \sqrt{7149,32} = 84,55^m \\ \text{измѣренная же длина} = 84,56^m \\ \hline \text{разность} = 0,01^m, \end{array}$$

которою разумѣется можно пренебречь. Точно такъ же для провѣрки измѣрены продольныя и поперечныя длины зданій. При повѣркѣ возведеніемъ въ квадратъ и извлеченіемъ квадратнаго корня необходимо пользоваться ради быстроты дѣйствій таблицей квадратовъ чиселъ, помѣщенной наприм. въ пятизначныхъ логариемическихъ таблицахъ Гаусса.

*Способъ обхода* употребляется при съемкѣ контуровъ, внутри закрытыхъ или совсѣмъ не допускающихъ измѣреній, какъ напр. лѣса, кустарника, пруда. Онъ состоитъ въ обходѣ этого контура подъ прямыми углами и измѣреніи длинъ между ихъ вершинами. Такъ если нужно снять кустарникъ, контуръ котораго представленъ на черт. 274,

Черт. 274.



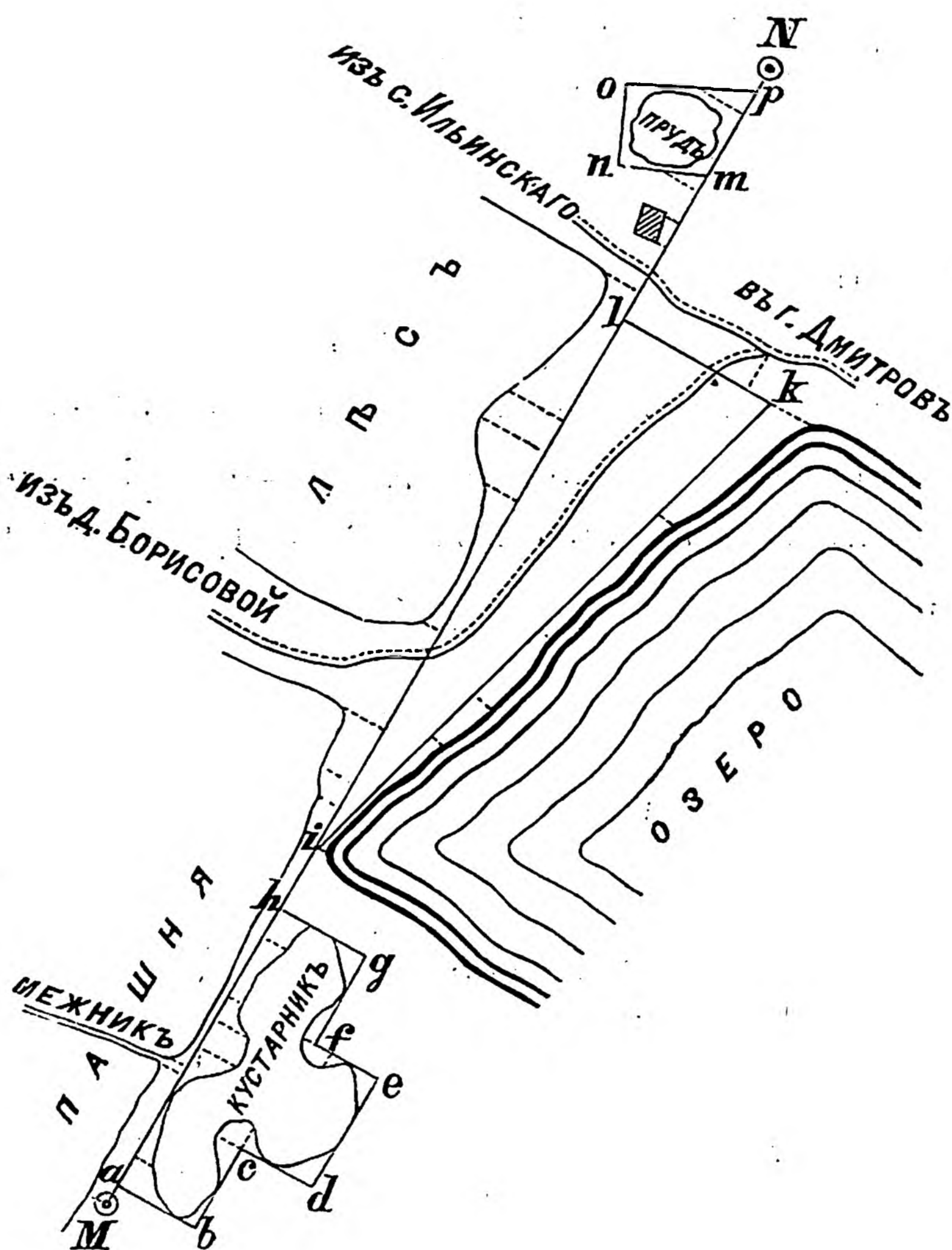
то посредствомъ экера описываютъ около него многоугольникъ  $ABCD$ ...  $...IKA$  съ прямыми углами такъ, чтобы стороны его  $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$ ... лежали возможно ближе къ самому контуру и проходили чрезъ наиболѣе выдающіяся его вершины. Затѣмъ измѣряютъ длины этихъ сторонъ, а абсциссами и ординатами опредѣляютъ относительно ихъ отдѣльныя точки контура.

При этомъ способѣ съемки также ведется абрисъ, на которомъ чертятся отъ — руки направленія сторонъ описаннаго многоугольника и подписываются длины какъ ихъ, такъ и абсциссъ и ординатъ вершинъ. Съ помощью этого абриса строится на бумагѣ въ данномъ масштабѣ сначала многоугольникъ, а затѣмъ уже наносится и самый контуръ относительно сторонъ этого многоугольника.

Экеръ чаще употребляется какъ вспомогательный снарядъ при другомъ какомъ либо инструментѣ, которымъ опредѣляется взаимное поло-

женіе главныхъ точекъ снимаемой мѣстности. Промѣривая линіи, соединяющія эти точки и служащія абсциссными, опредѣляютъ относительно ихъ изгибы контуровъ и подробности мѣстности, находящіяся близъ абсциссной линіи; при этомъ употребляется или способъ координатъ, или способъ обхода. Если напр.  $M$  и  $N$  (черт. 275) суть точки, опредѣленные какимъ либо угломѣрнымъ инструментомъ, то для съемки контуровъ, лежащихъ по обѣимъ сторонамъ линіи  $MN$ , начинаютъ измѣреніе ея отъ точки  $M$ . Опредѣливъ предварительно посредствомъ перпендикуляра къ  $MN$  разстояніе до влѣво помѣщающейся пашни, затѣмъ пріостановивъ измѣреніе линіи  $MN$  въ  $a$ , снимаютъ обходомъ, вправо

Черт. 275.

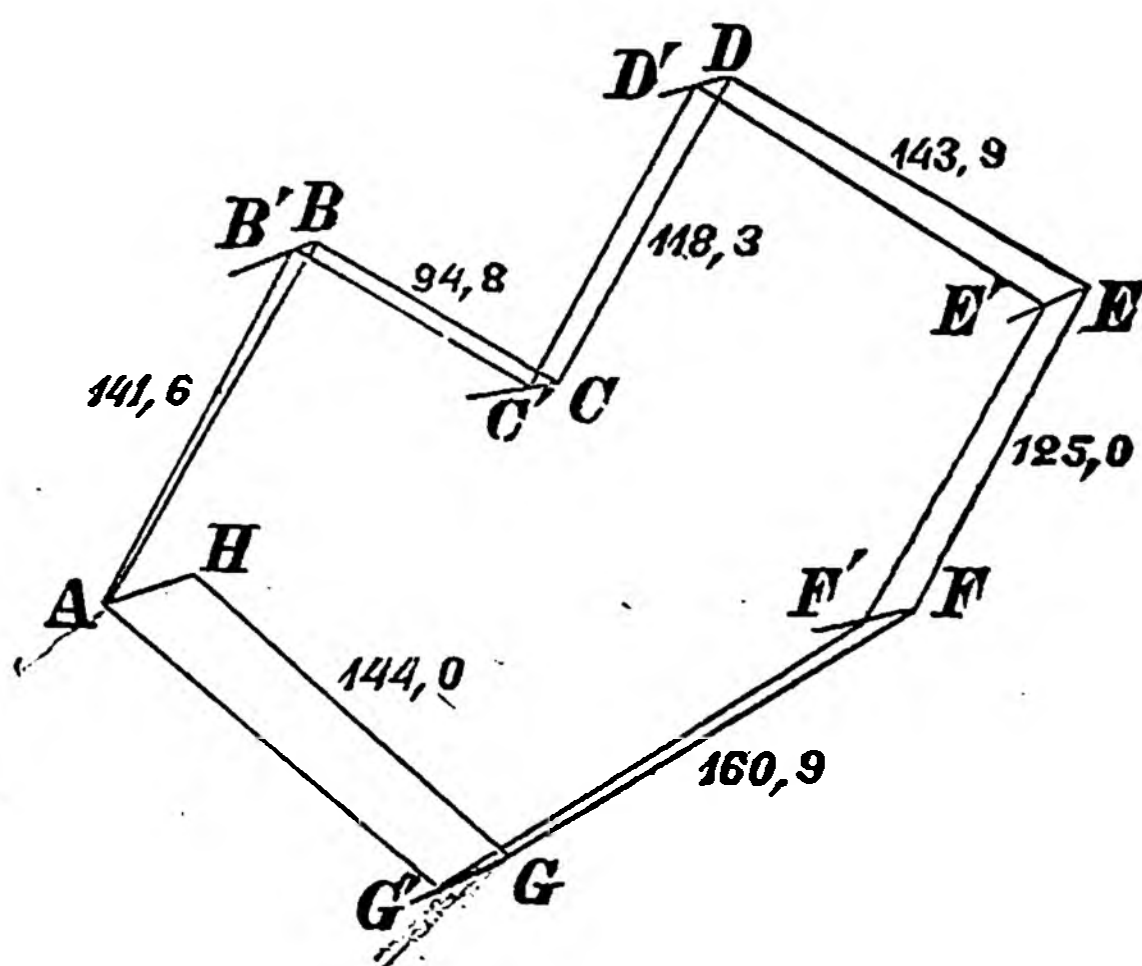


лежащій кустарникъ, при чемъ углы многоугольника  $abcdefgh$  берутся прямые, а самый контуръ кустарника снимаютъ координатами относительно сторонъ многоугольника; доходятъ такимъ образомъ до  $h$ , которая лежитъ на  $MN$  и въ которую забиваютъ временный колышекъ. Послѣ этого возвратившись въ  $a$  продолжаютъ измѣреніе  $MN$  до  $h$  и опредѣляютъ координатами: влѣво положеніе начала и конца межника въ пашнѣ, а вправо контуръ кустарника. Измѣряя далѣе линію  $MN$  до  $i$  замѣчаютъ, что для опредѣленія координатами берега озера, лежащаго вправо отъ линіи, перпендикуляры будутъ велики, вслѣдствіе чего надо провести линію  $ik$  возможно ближе къ этому берегу и надежно опредѣлить положеніе ея относительно  $MN$ . Для такого опредѣленія достаточно будетъ въ послѣдующемъ: опустить изъ  $k$  перпендикуляръ  $kl$  на  $MN$  и промѣривъ всѣ три стороны треугольника  $ikl$ ; тогда точка  $k$

опредѣлится относительно  $MN$  длиною перпендикуляра  $lk$ , возставленнаго изъ точки  $l$ , лежащей на извѣстномъ разстояніи отъ  $i$  и будетъ провѣрена извѣстною длиною  $ik$ . Приводя это въ исполненіе промѣряютъ на мѣстности линію  $il$  и замѣчаютъ влѣво положеніе пашни, точку пересѣченія линіи  $MN$  съ дорогою изъ дер. Борисовой, ширину этой дороги и положеніе части контура лѣса; послѣ того возставляютъ въ  $l$  перпендикуляръ  $lk$  и промѣряютъ его, при чемъ замѣчаютъ пересѣченіе его съ дорогою изъ д. Борисовой, ширину этой дороги и точку пересѣченія ея съ дорогою изъ с. Ильинскаго въ гор. Дмитровъ; наконецъ измѣряютъ  $ki$  и опредѣляютъ относительно ея координатами берегъ озера. Продолжая измѣреніе линіи  $MN$  далѣе за точку  $l$ , опредѣляютъ влѣво: контуру лѣса, пересѣченіе линіи съ дорогою изъ с. Ильинскаго, два угла дома, а также его длину и ширину. Въ точкѣ  $m$  берутъ вблизи пруда линію  $mn$ , опредѣляютъ экеромъ уголъ  $lmp$  и снимаютъ прудъ обходомъ; при чемъ въ точкахъ  $n$  и  $o$  дѣлаютъ прямые углы, а уголъ  $opt$  опредѣляютъ экеромъ. Въ заключеніе промѣряютъ отъ  $m$  до  $N$ .

§ 134. Въ предыдущемъ параграфѣ мы видѣли, что при наложеніи на бумагу сомкнутого многоугольника (напр.  $ABC\dots IKA$  на черт. 274), описаннаго на мѣстности при съемкѣ контура, происходитъ несмыкаемость этого многоугольника или, такъ называемая, *невязка фигуры*. Эта невязка состоитъ въ томъ, что конецъ послѣдней линіи не смотря на то, что многоугольникъ на мѣстности сомкнутый не совпадаетъ съ начальною его точкою и уклоняется отъ этой послѣдней въ сторону. Такъ если  $A$  (черт. 276) есть начальная точка многоугольника  $ABCD\dots$ , описаннаго около снимаемаго контура, то конечная точка его  $H$  никогда, говоря вообще, не совмѣстится на бумагѣ съ начальною точкою, какъ бы слѣдовало по теоріи. Явленіе это объясняется тѣмъ, что вслѣдствіе несовершенства снарядовъ, употребляемыхъ при измѣреніяхъ, и несовершенства нашихъ чувствъ, ни одно изъ измѣреній какъ на мѣстности, такъ и на бумагѣ не можетъ быть произведено съ совершенною, математическою точностью; а потому опредѣленіе угловъ и измѣреніе сторонъ многоугольника на мѣстности, также и построеніе этихъ величинъ на бумагѣ сопровождается случайными погрѣшностями, изъ которыхъ каждая въ отдѣльности хотя и неуловима, но въ совокупности эти неизбежныя ошибки производятъ то, что при накладкѣ фигуры на бумагу конечная точка обхода не совпадаетъ съ начальною или, иначе, получается невязка. И такъ, причиною появленія невязки служатъ неизбежныя погрѣшности измѣренія линій и угловъ на мѣстности и нанесенія этихъ величинъ на бумагу.

Черт. 276.





Опытнымъ путемъ обнаружено, что величина этой невязки при существованіи въ измѣреніяхъ на мѣстности и въ накладкѣ однѣхъ только неизбѣжныхъ, но не грубыхъ погрѣшностей, не должна превышать для съемки экеромъ  $\frac{1}{50}$  доли периметра многоугольника. Вслѣдствіе чего для полученія высшаго предѣла невязки, соотвѣтствующаго данному многоугольнику, нужно взять  $\frac{1}{50}$  отъ его периметра; такъ напр. для многоугольника, изображеннаго на черт. 276, периметръ котораго равенъ 928,5 саж., высшій предѣлъ невязки есть 18,6 саж., всякую же другую невязку для этого периметра, большую 18,6 саж., нужно считать недопускаемою и происходящею отъ существованія какихъ либо грубыхъ ошибокъ, сдѣланныхъ или при измѣреніяхъ на мѣстности, или при накладкѣ. Положимъ, что при накладкѣ нашего многоугольника получена невязка въ 6,5 саж., которая менѣе высшаго предѣла и потому эту невязку допустить можно. Убѣдившись въ допускаемости, надо уничтожить невязку, что производится, послѣ повѣрки накладки, разложеніемъ невязки пропорціонально длинамъ линій многоугольника; а для этого опредѣлимъ сначала величину погрѣшности, приходящуюся на каждыя 100 саж. Такъ какъ въ периметрѣ многоугольника заключается  $\frac{928,5}{100}$  или 9,3 сотни, то слѣд. на каждыя 100 саж. получается погрѣшность  $\frac{6,5}{9,3} = 0,7$  саж. Такъ какъ число сотенъ въ сторонахъ многоугольника, начиная съ  $AB$ , равно послѣдовательно: 1,4; 0,9; 1,2; 1,4; 1,3; 1,6 и 1,4, то на каждую изъ нихъ приходится погрѣшности:

$$\begin{aligned} 1,4 \times 0,7 &= 1,0 \\ 0,9 \times 0,7 &= 0,6 \\ 1,2 \times 0,7 &= 0,8 \\ 1,4 \times 0,7 &= 1,0 \\ 1,3 \times 0,7 &= 0,9 \\ 1,6 \times 0,7 &= 1,1 \\ 1,4 \times 0,7 &= 1,0 \\ \hline \text{сумма} &= 6,4. \end{aligned}$$

Эта сумма отличается отъ величины всей невязки (6,5) только на 0,1 саж., что произошло отъ округленія погрѣшности на сотню периметра, округленія числа сотенъ сажень въ сторонахъ многоугольника и округленія произведеній. Если эта разность ( $0,1^c$ ) не ощутительна въ масштабѣ плана, то ею пренебрегаютъ; въ противномъ случаѣ она вводится въ предыдущія произведенія, увеличивая тѣ изъ нихъ, при которыхъ была откинута большая дробь. Пренебрегая ею въ настоящемъ случаѣ, соединяютъ точку  $H$  съ  $A$  и чрезъ вершины:  $B, C, D, E, F$  и  $G$  проводятъ линіи параллельно невязкѣ въ сторону протівоположную съ ея направленіемъ; такъ если, какъ въ нашемъ случаѣ, невязка направляется отъ  $A$  *вправо*, то параллели проводятся *влѣво*. (Причина этого будетъ сейчасъ видна). Затѣмъ на этихъ параллеляхъ откладываютъ отъ вершинъ многоугольника послѣдовательно

на параллель точки	$B$	$1,0$ саж.
»	»	»
»	$C$	$1,0 + 0,6 = 1,6$ саж.
»	$D$	$1,6 + 0,8 = 2,4$ »
»	$E$	$2,4 + 1,0 = 3,4$ »
»	$F$	$3,4 + 0,9 = 4,3$ »
»	$G$	$4,3 + 1,1 = 5,4$ » ,

а для параллели въ точкѣ  $H$  приходится  $5,4 + 1,0 = 6,4$  саж. (вмѣсто  $6,5$ ). Соединивъ теперь полученные точки:  $B', C', D', E', F', G'$ , и  $A$  съ точками предыдущими, получимъ сомкнутый многоугольникъ  $AB'C'D'E'F'G'A$ , въ которомъ не существуетъ невязки.

Новыя линіи  $AB', B'C', C'D', \dots G'A$  проведены такимъ образомъ, что всѣ онѣ весьма мало уклоняются отъ первоначальнаго своего направленія, чѣмъ и достигается возможно меньшее измѣненіе какъ длинъ ихъ, такъ и величинъ угловъ между ними. Этого нельзя было бы достигнуть, если бы линіи, параллельныя невязкѣ, имѣли направленіе не противоположное, а одинаковое съ направленіемъ невязки, ибо тогда, какъ не трудно убѣдиться изъ отдѣльнаго чертежа, послѣдняя линія  $G'A$  увязанной фигуры пересѣкала бы линію  $GH$ . Это и служитъ причиною того, что линіи, параллельныя невязкѣ, проводятся въ сторону противоположную съ ея направленіемъ.

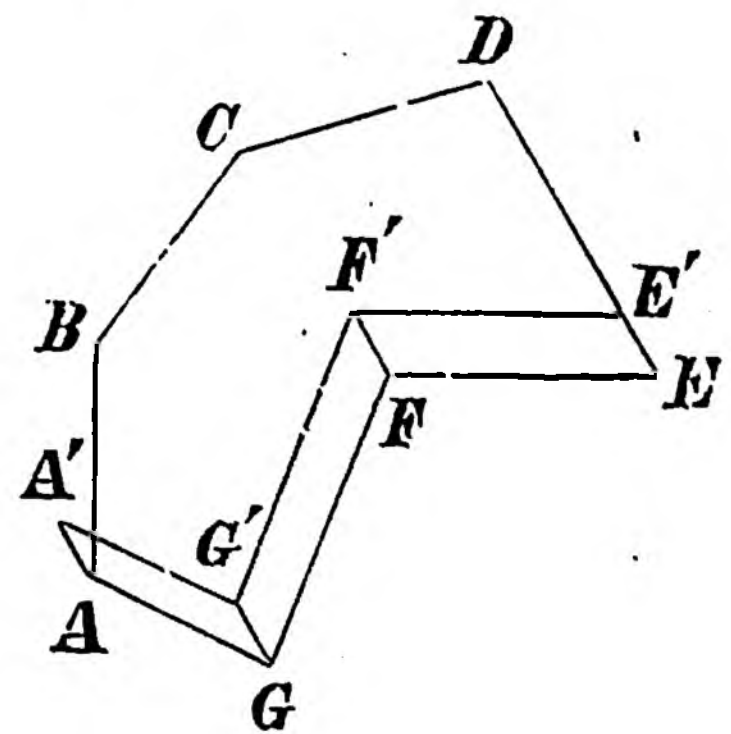
Этотъ способъ распредѣленія невязки въ отличіе отъ другого, который будетъ изложенъ въ главѣ угломѣрныхъ инструментовъ, называется *уничтоженіемъ ея параллельными линіями*.

Онъ примѣняется, какъ сказано, послѣ того какъ съемщикъ убѣдился, что при накладкѣ фигуры не сдѣлано грубой ошибки и что полученная невязка можетъ быть допущена. Въ противномъ случаѣ она есть слѣдствіе грубой ошибки, сдѣланной или при измѣреніи сторонъ, или при опредѣленіи угловъ многоугольника на мѣстности.

**§ 135.** Ошибочно измѣренная на мѣстности сторона или ошибочно опредѣленный уголъ могутъ быть иногда обнаружены по плану, что даетъ возможность избѣгать пересѣмки всей фигуры. Это видно изъ слѣдующихъ соображеній:

1) Положимъ, что при измѣреніи сторонъ многоугольника  $ABCDEFGA$  (черт. 277) сдѣлана грубая ошибка, напр. пропущена цѣлая цѣпь въ сторонѣ  $DE$ ; тогда вмѣсто дѣйствительной длины этой линіи нанесена длина  $DE'$ . Если допустимъ, что при нанесеніи послѣдующихъ сторонъ  $E'F'$ ,  $F'G'$  и  $G'A$  точно соблюдены какъ длины соответственныхъ линій  $EF$ ,  $FG$  и  $GA$ , такъ и величины угловъ между ними, то линіи  $FF'$ ,  $GG'$  и  $AA'$  должны быть равны и параллельны линіи  $EE'$ ; другими словами, невязка  $AA'$  должна быть параллельна той сторонѣ многоугольника, въ которой сдѣлана грубая ошибка. Вслѣдствіе этого, чтобы отыскать на планѣ ошибочно измѣренную сторону многоугольника нужно оты-

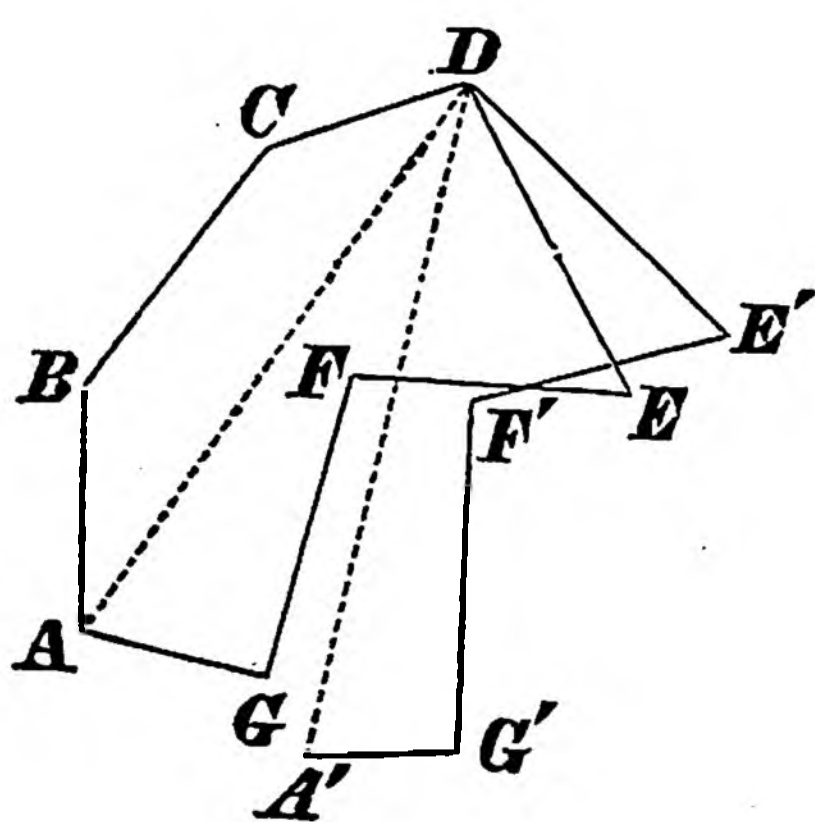
Черт. 277.



скать ту линію его, которая параллельна невязкѣ. Такъ какъ стороны  $E'F'$ ,  $F'G'$  и  $G'A'$  нанесены *не* абсолютно точно, какъ въ предыдущемъ предполагалось, то нельзя требовать, чтобы невязка была *точно* параллельна ошибочной сторонѣ; вмѣстѣ съ тѣмъ, такъ какъ въ данномъ многоугольникѣ можетъ быть нѣсколько сторонъ приблизительно параллельныхъ невязкѣ, то для опредѣленія ошибочной стороны нужно замѣтить по плану всѣ эти стороны и вновь промѣрить ихъ на мѣстности.

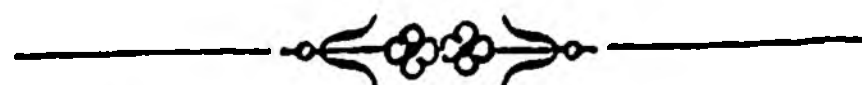
2) Пусть въ томъ же многоугольникѣ  $ABCDEFGA$  (черт. 278) сдѣлана грубая ошибка при опредѣленіи угла  $D$ , такъ что при накладкѣ

Черт. 278.



многоугольника вмѣсто сомкнутой фигуры получили разомкнутую  $ABCE'F'G'A'$ ; ибо вслѣдствіе сказанной грубой ошибки линія  $DE$  уклонится отъ вѣрнаго своего положенія и займетъ положеніе  $DE'$ , а за нею уклонится и часть  $E'F'G'A'$  настолько, что образуется невязка  $AA'$ . Если допустить, что какъ въ длинѣ линій  $DE'$ ,  $E'F'$ ,  $F'G'$  и  $G'A'$ , такъ и въ углахъ между ними не существуетъ ни малѣйшей погрѣшности, то ломанная линія  $DE'F'G'A'$  будетъ равна ломанной линіи  $DEFGA$ , а поэтому равны и діагонали  $DA$  и  $DA'$ . Отсюда видно, что если при измѣреніи циркулемъ разстояній отъ концовъ невязки до вершинъ многоугольника найдемъ такую вершину, для которой эти разстоянія равны между собою, то въ этомъ углѣ можно предполагать грубую ошибку. Такъ какъ могутъ быть найдены двѣ или болѣе вершинъ, обладающихъ тѣмъ же свойствомъ, и такъ какъ вмѣстѣ съ тѣмъ нельзя предполагать, чтобы линіи:  $E'F'$ ,  $F'G'$  и  $G'A'$  имѣли точное относительное положеніе на бумагѣ, то для нахождения ошибочно опредѣленнаго угла нужно замѣтить на планѣ всѣ тѣ вершины, разстояніе до которыхъ отъ концовъ невязки *приблизительно* одинаковы, и провѣрить опредѣленіе этихъ угловъ на мѣстности.

На практикѣ, говоря вообще, неизвѣстно отъ чего произошла въ данномъ случаѣ недопускаемая невязка — отъ грубой ли ошибки въ сторонѣ многоугольника, или отъ грубой ошибки въ одномъ изъ его угловъ. А потому, убѣдившись въ недопускаемости невязки, нужно замѣтить на планѣ всѣ тѣ углы, разстояніе до вершинъ которыхъ отъ концовъ невязки приблизительно одинаковы, а также замѣтить и всѣ тѣ стороны многоугольника, которыя приблизительно параллельны невязкѣ; послѣ чего всѣ эти величины провѣрить на мѣстности. Такимъ путемъ можно обнаружить грубую ошибку въ одной сторонѣ или углѣ; при существованіи же грубыхъ ошибокъ въ нѣсколькихъ сторонахъ или углахъ, предыдущія соображенія вообще непримѣнимы.



## ГЛАВА V.

### Инструменты для графическаго опредѣленія угловъ. Съемка ими.

§ 136. Инструменты для графическаго опредѣленія угловъ называются *мензулами* \*) и служатъ для непосредственнаго изображенія при производствѣ съемки горизонтальнаго продолженія контуровъ, подобныхъ контурамъ, находящимся на мѣстности. При этомъ, нужные для съемки углы получаются *всегда* графически, длины же линій получаются отчасти чрезъ измѣреніе на мѣстности, а отчасти также графически.

Всякая мензула состоитъ изъ трехъ частей: 1) *доски*, на которую наклеивается бумага для полученія графическаго изображенія контуровъ, 2) *штатива*, которымъ инструментъ ставится на землю и 3) *подставки*, которая служитъ для соединенія доски со штативомъ.

Различіе въ устройствѣ мензулъ обуславливается главнымъ образомъ устройствомъ ихъ подставокъ, посредствомъ которыхъ достигается большая или меньшая устойчивость инструмента. Въ настоящей главѣ остановимся на разсмотрѣнннхъ тѣхъ конструкціяхъ подставокъ, которыя чаще всего встрѣчаются въ Россіи; а именно: блокъ-мензулы, мензулы мюнхенской (*Рейссина*) и мензулы *Стефана*. Въ виду же совершенно одинаковаго изготовленія деревянныхъ мензульныхъ досокъ опишемъ предварительно ихъ устройство.

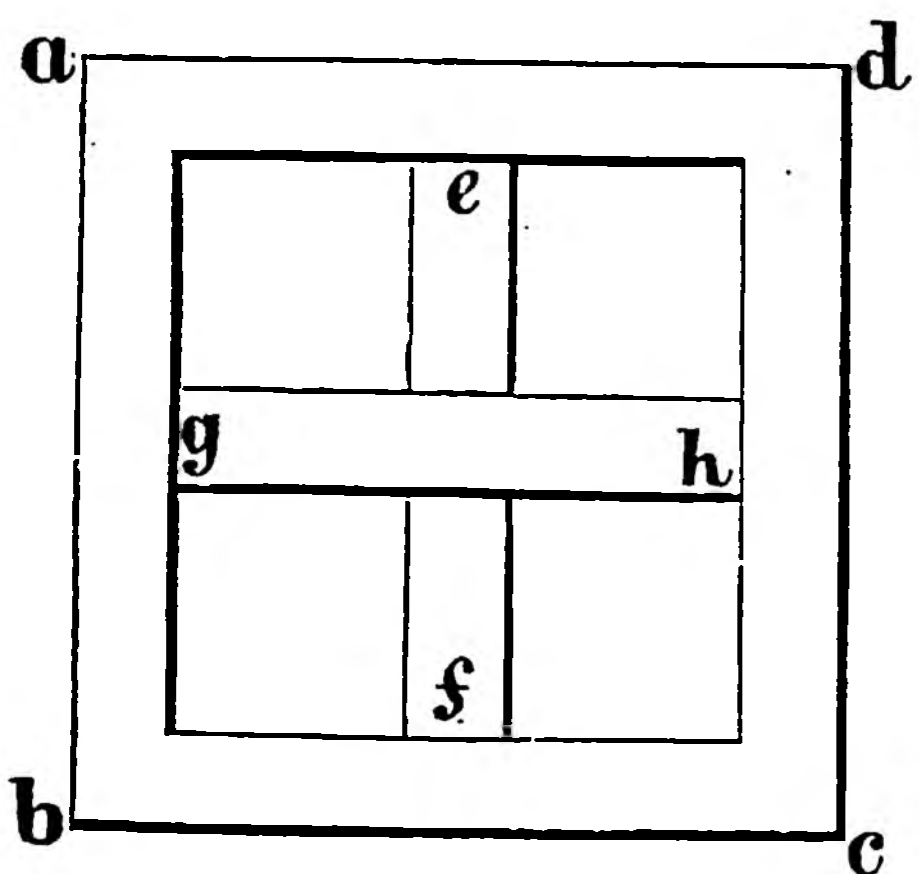
Лучшія мензульные доски устраиваются такъ: сначала изъ липо-

---

\*) Названіе это происходитъ отъ латинскаго слова *mensula* — столикъ. Обыкновенно принимаютъ, что мензула изобрѣтена *Иваномъ Преторіусомъ*, профессоромъ математики въ Альтдорфѣ (Баваріи), около 1611 года и въ первый разъ описана его ученикомъ *Даниломъ Швентнеромъ* въ его геометріи 1618 года. Этотъ инструментъ назывался иногда прежде по имени изобрѣтателя *mensula praetoriana*. Существуетъ однако мнѣніе, что мензула изобрѣтена одновременно съ Преторіусомъ или швейцарскимъ инженеромъ *Ардюзеромъ*, род. въ 1584 и умерш. въ 1665 г., или цюрихскимъ механикомъ *Цублеромъ* между 1563 и 1609 годами.

ваго дерева дѣлается квадратная рама  $abcd$  (черт. 279), состоящая изъ брусковъ шириною дюйма въ 3, а толщиною нѣсколько менѣе дюйма.

Черт. 279.



Въ эту раму вставляются двѣ накрестъ сложенные распорки  $ef$  и  $gh$ . Образовавшіеся послѣ этого пустые квадратики заполняются также липовыми дощечками, волокна которыхъ скрещиваются между собою для уменьшенія коробленія доски отъ перемены температуры. Наконецъ верхъ и низъ всей рамы закрывается досками, которыя состругиваются такъ, чтобы наружныя ихъ поверхности были плоскостями.

На устроенную такимъ образомъ доску наклеивается бумага. Эта наклейка производится такъ: изъ ватманской бумаги вырѣзаютъ квадратъ такой величины, чтобы при наложеніи его на мензурную доску оставался ободокъ шириною нѣсколько меньше толщины доски; берутъ яичный бѣлокъ (полагая на наклейку двухъ большихъ досокъ три яйца), тщательно отдѣленный отъ желтка, подливаютъ въ него немного воды, взбиваютъ въ пѣну и посредствомъ гусиного пера покрываютъ ею равномерно обратную сторону бумаги и доску; затѣмъ накладываютъ бумагу на доску намазанною стороною, водятъ по бумагѣ чистою тряпкою, начиная отъ середины къ краямъ, до тѣхъ поръ пока бумага будетъ хорошо, безъ воздушныхъ пузырьковъ, прилегать къ доскѣ, загибаютъ края бумаги и прикрѣпляютъ ихъ къ боковымъ стѣнкамъ доски крахмаломъ или губнымъ клеемъ. Наклейка всей поверхности бумаги на доску яичнымъ бѣлкомъ предпочитается наклейкѣ посредствомъ крахмала, которымъ смазываются только края бумаги, потому что на бумагѣ, наклеенной бѣлкомъ и легко сдирающейся съ доски по окончаніи съемки, при сыромъ воздухѣ почти не образуется воздушныхъ пузырьковъ, которые не только препятствуютъ свободному передвиженію по бумагѣ мензурныхъ принадлежностей, но и вліяютъ вредно на точность работы.

Мензурныя доски бываютъ весьма различныхъ размѣровъ; въ наиболѣе же употребительныхъ малыхъ доскахъ сторона квадрата = 14 дюймамъ, а въ большихъ — сторона квадрата = 22 дюйм. Мензурныя доски называются также *планшетами* \*) и дѣлаются иногда изъ толстаго стекла.

§ 137. Простѣйшая по устройству подставки есть *блокъ — мензула* \*). Подставка эта бываетъ двухъ родовъ — большая и малая, смотря по величинѣ доски.

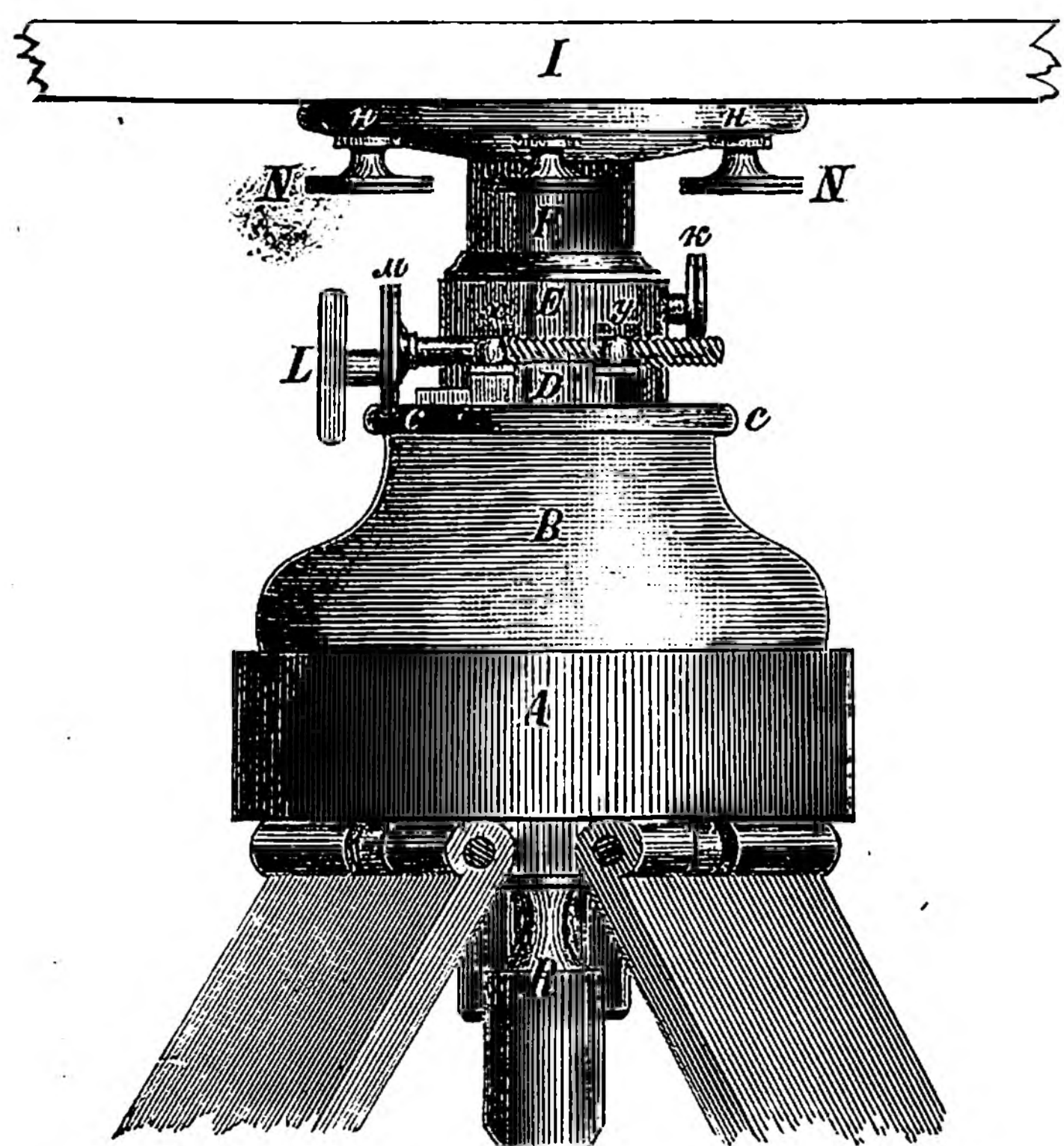
Подставка *большой блокъ — мензулы* устроена такъ: къ головѣ  $A$  (черт. 280) мюнхенскаго штатива прикрѣпляется деревянный чурбанъ  $B$

\*) Франц. слово *planchette* происходитъ отъ *planche* — доска.

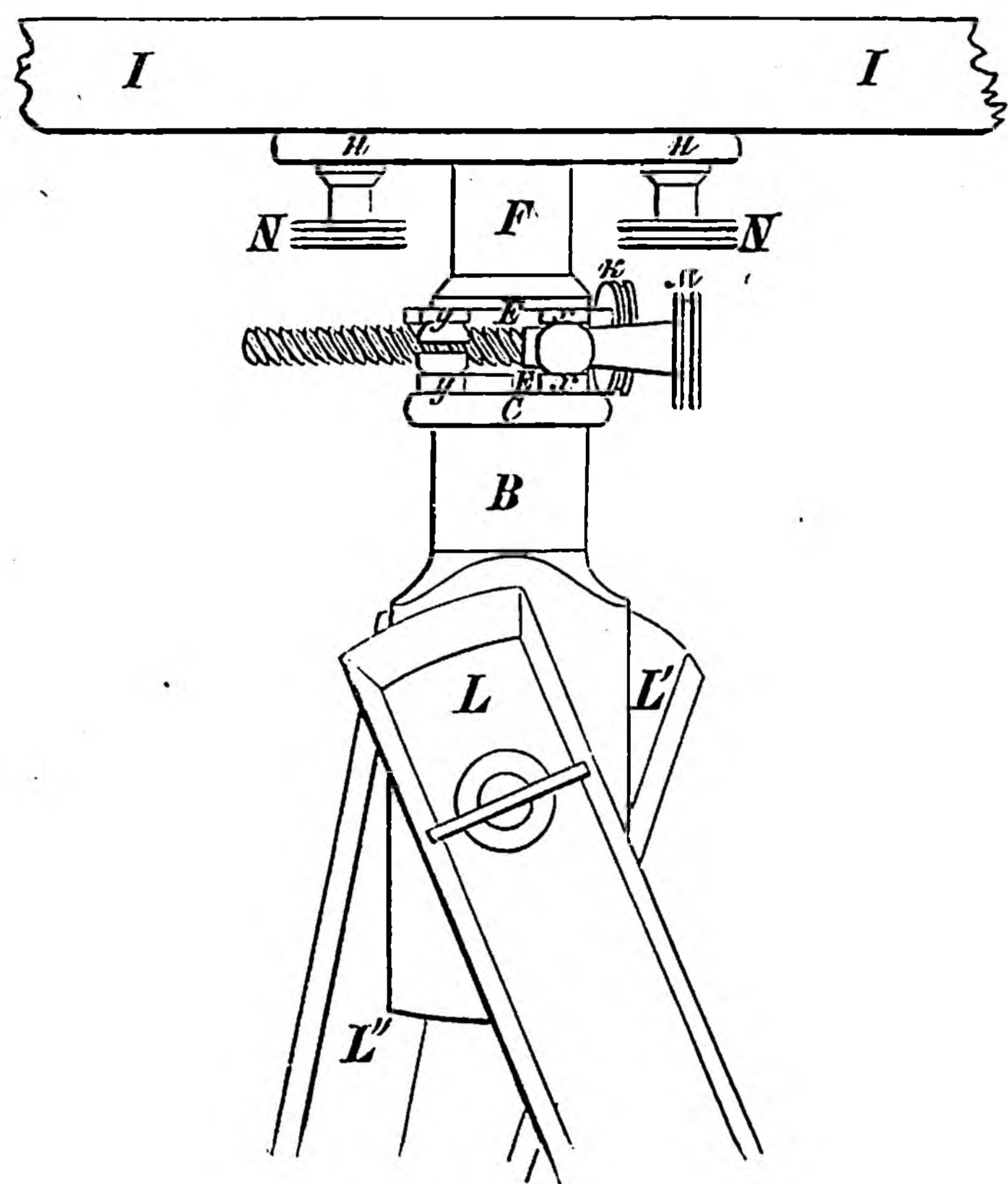
\*\*) Нѣмецкое слово *Block* означаетъ чурбанъ, колода, стулъ.

винтомъ *R*, проходящимъ чрезъ нее. Къ верху этого чурбана прикрѣпленъ мѣдный кругъ *CC*, на которомъ лежатъ, одно подъ другимъ, два кольца *D* и *E*. Нижнее кольцо *D* прикрѣплено къ кругу *CC*, а верхнее *E* соединено съ тѣмъ же кругомъ винтомъ *M*, проходящимъ чрезъ клещи *x*, привинченные къ кольцу *D* и чрезъ клещи *y*, привинченные къ кольцу *E*. Внутри колець *D* и *E* входитъ продолженіе цилиндра *F*, имѣющаго на верху кругъ *H*. Этотъ цилиндръ можетъ свободно вращаться внутри колець. Если завернуть винтъ *K*, сжимающій разрѣзь кольца *E*, то внутренняя стѣнка этого кольца будетъ прижата къ наружной поверхности цилиндра *F*, и тогда этотъ послѣдній, а слѣдов. и кругъ *H*, можетъ быть поворачиваемъ медленно только при вращеніи винта *M*, ибо тогда клещи *x* и *y* будутъ или сближаться, или удаляться другъ отъ друга. Чтобы прекратить возможность и этого медленнаго вращенія круга *H*, сжимаютъ винтомъ *L* разрѣзь кольца *D*, чѣмъ и заставляютъ внутреннюю его поверхность плотно прикоснуться къ продолженію цилиндра *F*. Изъ этого видно, что винтъ *K* служитъ для прекращенія свободного или, такъ называемаго, грубаго

Черт. 280



Черт. 281.



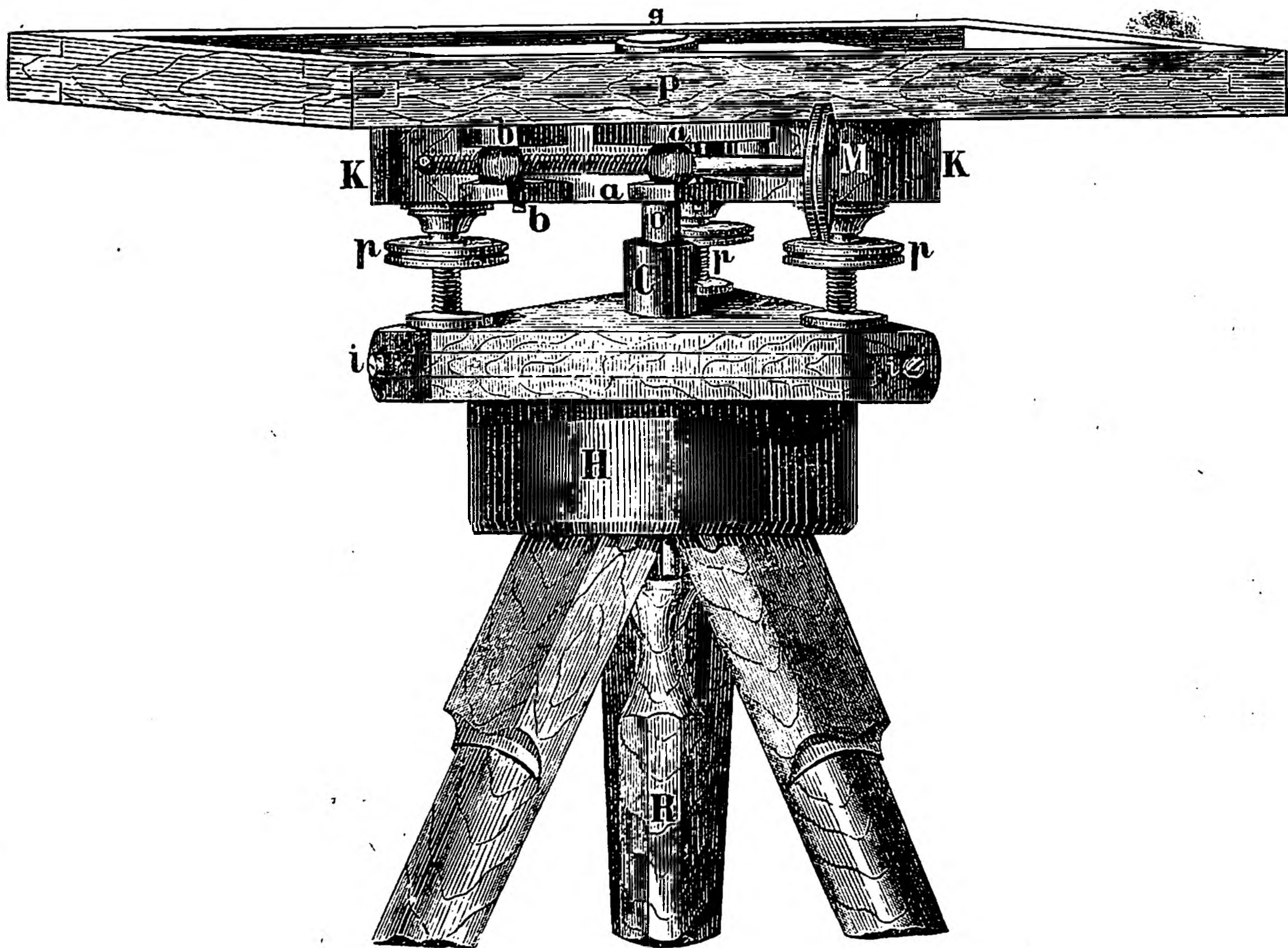
вращенія цилиндра *F*, а съ нимъ вмѣстѣ и круга *H*; винтъ *M* служитъ для медленнаго поворачиванія круга *H*; наконецъ винтъ *L* прекращаетъ какъ грубое, такъ и медленное вращеніе круга *H*. Иначе сказать, винты *K* и *L* суть *нажимательные*, винтъ *M* — *микрометренный*, а винтъ *R*, которымъ прикрѣпляется подставка къ штативу, есть *становой*. Такъ какъ кругъ *H* соединяется съ планшетомъ *I* посредствомъ четырехъ винтовъ *N*, то прекращая вращеніе круга будетъ прекращаться и вращеніе доски на подставкѣ.

Устройство подставки *малой блокъ* — *мензулы* нѣсколько проще; а именно на закругленный ободокъ *C* (черт. 281) цапфы *B* ея штатива,

имѣющаго ножки  $L$ ,  $L'$  и  $L''$ , надѣваются два кольца  $E$  одно на другое. Оба эти кольца связаны между собою винтомъ  $M$ , который проходитъ чрезъ клещи  $y$  нижняго кольца и чрезъ клещи  $x$  верхняго кольца  $E$ . Верхнее кольцо имѣетъ сбоку разрѣзъ, сжимая который винтомъ  $K$ , оно соединяется на - крѣпко съ нижнею частью цилиндра  $F$ , чѣмъ и достигается неподвижность этого цилиндра. Отсюда видно, что винтъ  $K$  прекращаетъ грубое вращеніе цилиндра  $F$ , а винтъ  $M$  можетъ сообщить ему, послѣ закрѣпленія винта  $K$ , медленное вращеніе. Но такъ какъ съ вращеніемъ цилиндра  $F$  вращается и сдѣланный съ нимъ изъ одного куска металла кругъ  $HH$ , къ которому прикрѣпляется мензульная доска посредствомъ трехъ винтовъ  $N$ , то винты  $K$  и  $M$  суть *нажимательный* и *микрометренный* для всего планшета.

§ 138. Подставка *мюнхенской мензулы* имѣла въ первоначальномъ видѣ важные недостатки, которые впослѣдствіи были въ значительной степени уменьшены въ мастерской нашего Главнаго Штаба подъ руководствомъ *Рейссина*, вслѣдствіе чего *мюнхенская мензула* стала извѣстна въ Россіи подъ названіемъ *мензулы Рейссина*. Она изображена безъ доски на черт. 282 въ перспективѣ, а съ доскою на черт. 283 въ разрѣзѣ.

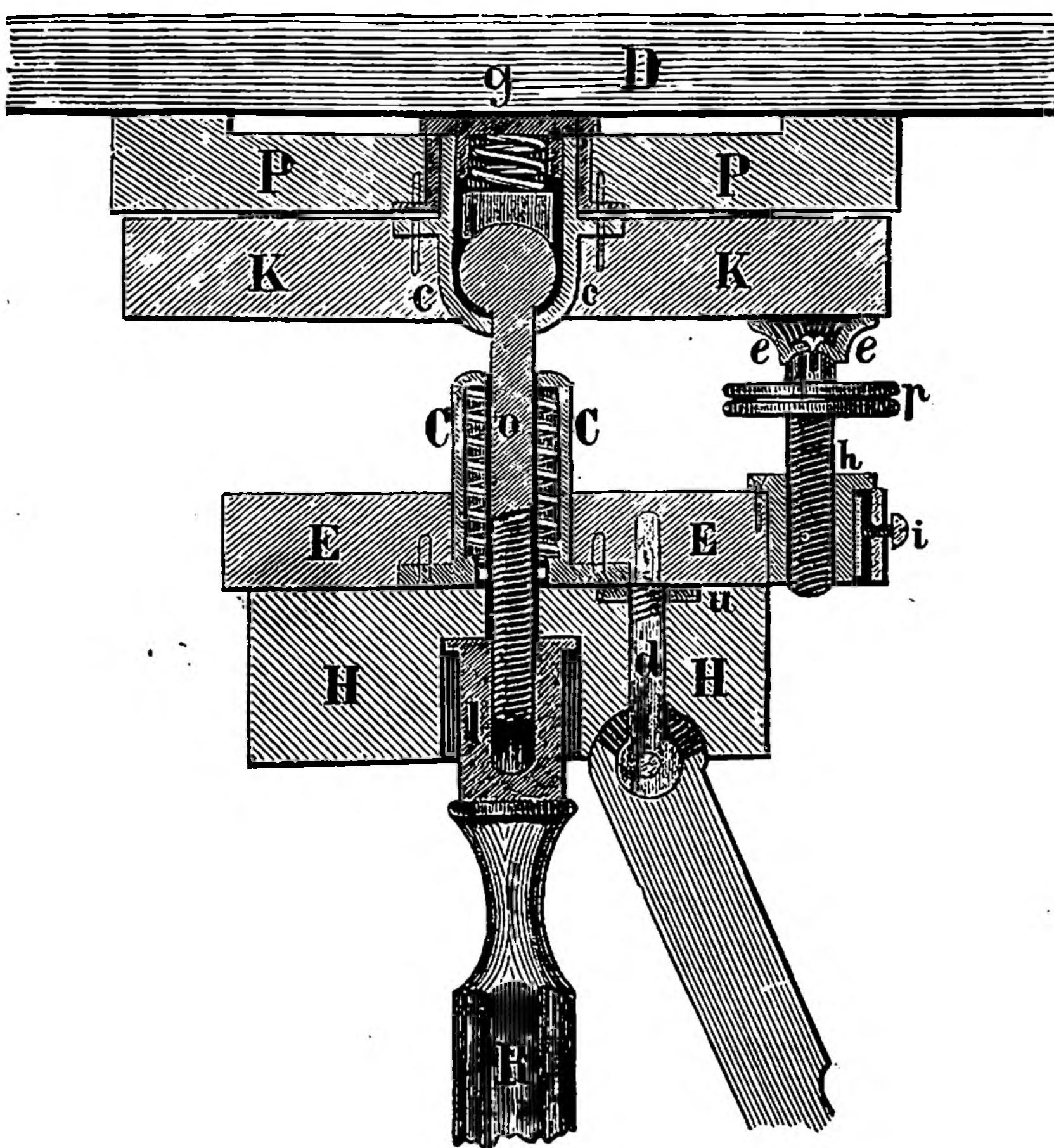
Черт. 282.



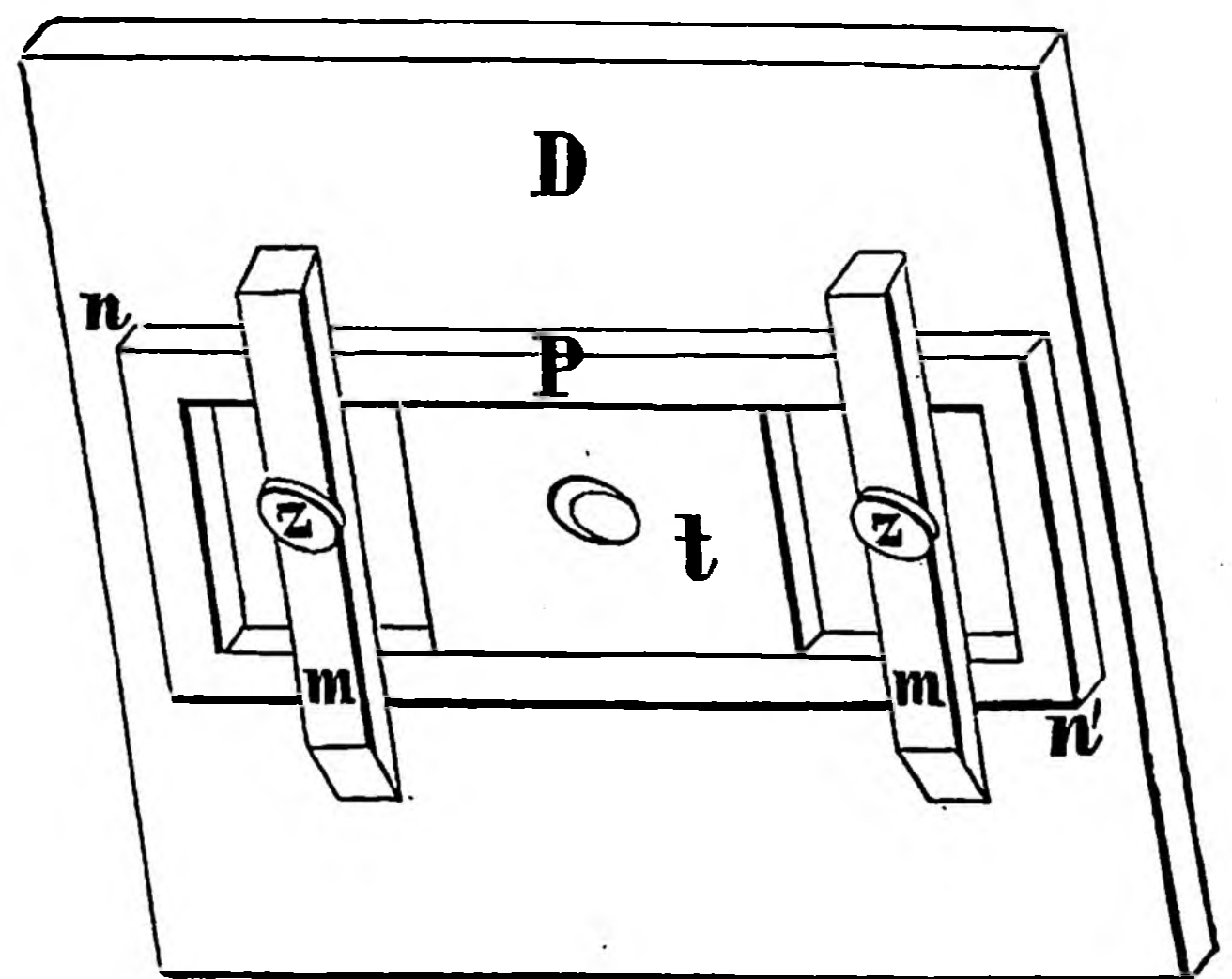
На голову  $H$  *мюнхенскаго штатива* накладывается подставка, состоящая: изъ треугольной доски  $E$  съ проходящимъ чрезъ средину ея пустымъ цилиндромъ  $C$ , трехъ подъемнымъ винтовъ  $p$  и накладывающихся на нихъ двухъ досокъ: круглой  $K$  и прямоугольной  $R$ . Доски  $R$  и  $K$ , вращающіяся на подъемныхъ винтахъ  $p$ , соединены между собою гай-

кою  $g$  на столько слабо, что доска  $P$  может поворачиваться на доскѣ  $K$ . Къ доскѣ  $P$  прикрѣплены клещи  $a$ , а къ кругу  $K$  — клещи  $b$ . Проходящимъ черезъ эти клещи винтомъ  $M$  можно сообщить медленное вращеніе доскѣ  $P$  на доскѣ  $K$ . Черезъ середины досокъ  $P$ ,  $K$  и цилиндръ  $C$  проходитъ стержень  $o$ , оканчивающійся наверху шарикомъ, а внизу имѣющій винтовую нарѣзку, на которую навинчивается гайка  $l$  съ рукояткою  $R$  для прикрѣпленія всей подставки къ штативу и притягиванія на-крѣпко досокъ  $P$  и  $K$  къ верхней части подъемныхъ винтовъ  $p$ . Эти послѣдніе, служащіе для приведенія верхней плоскости инструмента въ горизонтальное положеніе, проходятъ черезъ цилиндры  $h$ , помѣщенные въ доскѣ  $E$ ; каждый такой цилиндръ имѣетъ вертикальный разрѣзъ,

Черт. 283.



Черт. 284.



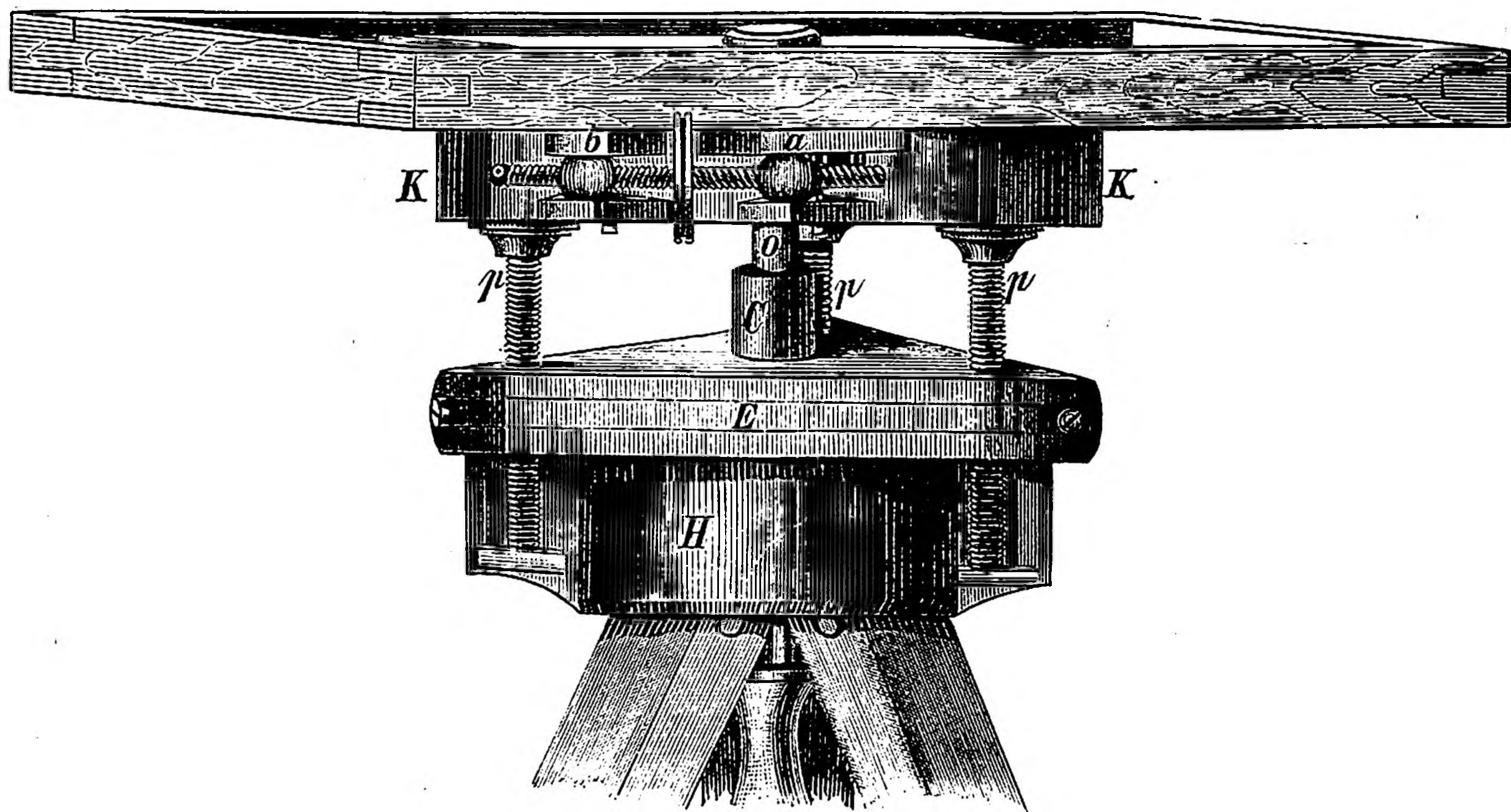
который можетъ быть уменьшаемъ или увеличиваемъ винтомъ  $i$ , проходящимъ черезъ закругленные углы доски  $E$ . И такъ рукоятка  $R$  съ помѣщающеюся вверху ея винтовой нарѣзкою служитъ *становымъ* винтомъ, прикрѣпляющимъ подставку къ штативу, и *нажимательнымъ* винтомъ, прекращающимъ грубое движеніе доски  $K$  на подъемныхъ винтахъ, а винтъ  $M$  есть *микрометренный*, для медленнаго движенія доски  $P$ . Такъ какъ доски  $P$  и  $K$  прижимаются къ верхней части подъемныхъ винтовъ посредствомъ становаго винта  $R$ , то разумѣется передъ поворачиваніемъ подъемныхъ винтовъ нужно ослабить винтъ  $R$ . Прямоугольная доска  $P$  (черт. 284) состоитъ изъ рамы  $nn'$ , въ срединѣ которой закрѣпляется доска  $t$ . Эта послѣдняя собственно и кладется на кругъ  $K$ . На доску  $P$  накладывается планшетъ  $D$  и закрѣпляется при ней посредствомъ деревянныхъ скобъ  $m$  проходящими черезъ нихъ винтами  $z$ .

Военно-Топографическій Отдѣлъ Главнаго Штаба сдѣлалъ въ предыдущей мензулѣ еще нѣкоторыя усовершенствованія. Наружный видъ



такой мензулы изображенъ на черт. 285. Главнѣйшія изъ усовершенствованій состоятъ въ слѣдующемъ: шляпка микрометричнаго винта помѣщена не на концѣ его, какъ прежде, а въ срединѣ, и винтовая нарѣзка его идетъ въ обѣ стороны отъ шляпки; вслѣдствіе этого вращеніе винта совершается съ большимъ удобствомъ и быстрота поворачиванія доски микрометричнымъ винтомъ увеличивается вдвое, ибо при одномъ полномъ оборотѣ его шляпки, планшеть повернется уже не на одну

Черт. 285.



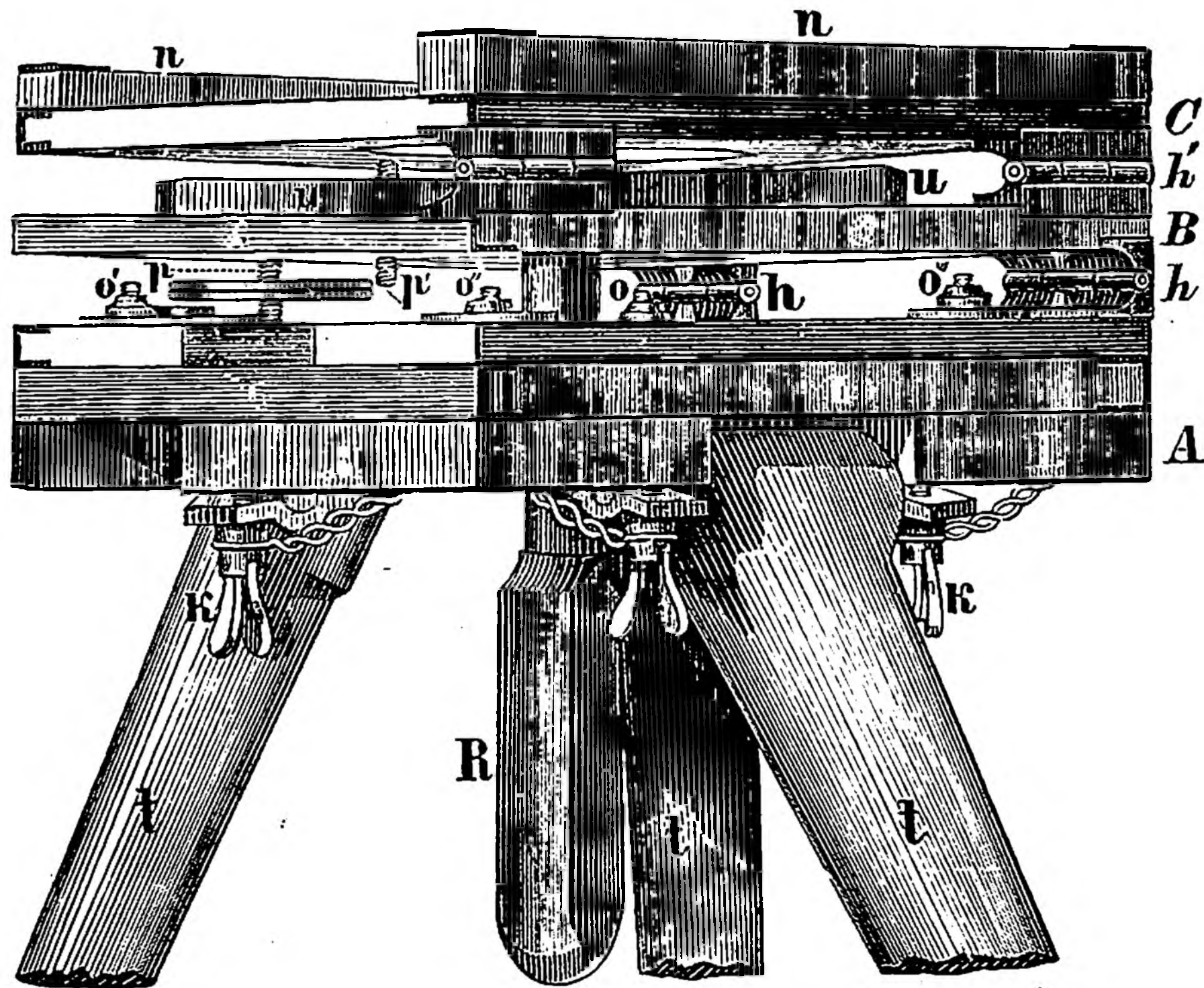
высоту нарѣзки, а на двойную такую высоту. Кромѣ того для удобства употребленія подъемныхъ винтовъ  $p$  шляпки ихъ сдѣланы не наверху винтовъ, а внизу ихъ; при чемъ въ головѣ  $H$  штатива сдѣланы соответственные выемки. Такой видъ мюнхенской мензулы извѣстенъ подъ названіемъ *мензулы Военно-Топографическаго Отдѣла*.

§ 139. *Мензула Стефана* \*). Штативъ этой мензулы состоитъ изъ трехъ отдѣльныхъ ножекъ  $t, t, t$  (черт. 286). Онѣ вкладываются въ вырѣзы нижней доски  $A$  и укрѣпляются въ ней посредствомъ мѣдныхъ скобъ и гаекъ  $k$ , навинчивающихся на винты и привѣшанныхъ на мѣдныхъ цѣпочкахъ. Подставка состоитъ изъ трехъ досокъ:  $A, B$  и  $C$ . Верхняя изъ нихъ  $C$  соединена съ среднею  $B$  посредствомъ двухъ шарнировъ  $h'$  и подъемнаго винта  $p'$ , вращающагося въ обѣихъ доскахъ на противоположной съ этими шарнирами сторонѣ. При вращеніи подъемнаго винта, прилежающіе края досокъ  $C$  и  $B$  сближаются или раздвигаются, между тѣмъ какъ противоположный край доски  $C$  вращается на шарнирахъ  $h'$ . Средняя доска  $B$  соединена съ нижнею также посредствомъ двухъ шарнировъ  $h$  и подъемнаго винта  $p$ ; при чемъ эти шарниры и винтъ помѣщены на краяхъ досокъ, перпендикулярныхъ къ кра-

\*) Генераль-маіоръ *Стефанъ*, бывшій вице-директоръ Военной Академіи, предложилъ эту мензулу въ 1853 году.

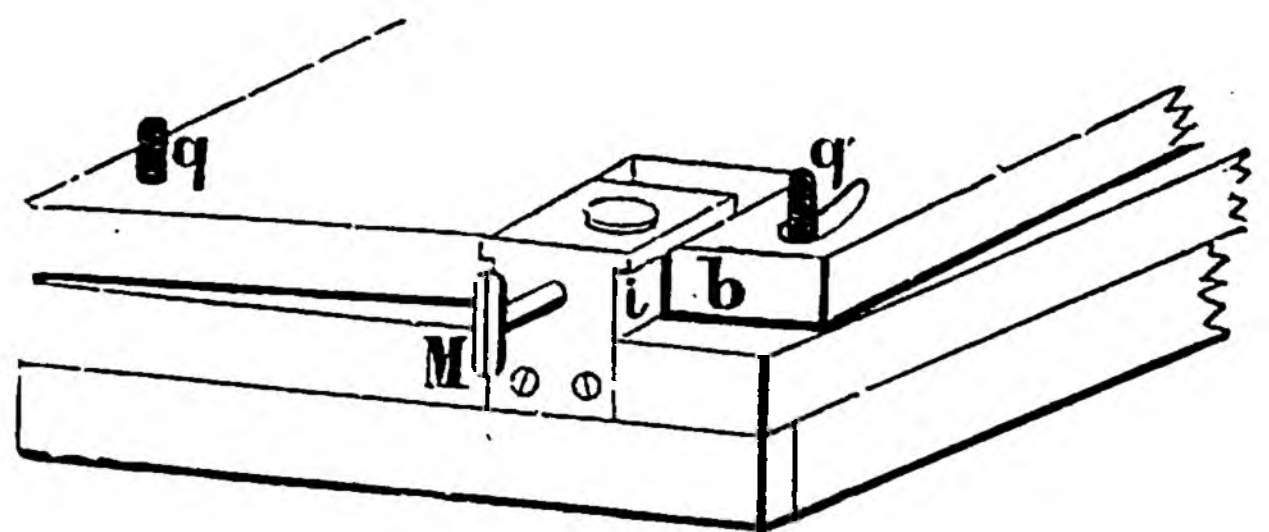
ямъ, на которыхъ помѣщены шарниры  $h'$  и винтъ  $p'$ . Доска  $A$  есть собственно соединеніе трехъ досокъ; изъ нихъ въ нижней доскѣ сдѣланы, какъ уже сказано, вырѣзы для ножекъ  $t$ , средняя доска соединена съ нижнею на-крѣпко, а верхняя доска можетъ немного передвигаться по

Черт. 286.



средней посредствомъ микрометричнаго винта. Подробности этого микрометричнаго движенія, изображенныя отчасти на черт. 286, а отчасти на черт. 287 слѣдующія: подъ гайками  $o'$ ,  $o''$ ,  $o'''$ , соединяющими верхнюю изъ досокъ  $A$  съ средней, сдѣланы дугообразныя прорѣзы, вслѣдствіе чего верхняя доска можетъ немного скользить по средней, если ее поворачивать около стержня  $q$ , покрытаго гайкою  $o$ . Чтобы верхней доскѣ сообщать это медленное скользящее движеніе, къ средней доскѣ привинченъ деревянный брусокъ  $i$ , входящій въ вырѣзъ верхней доски.

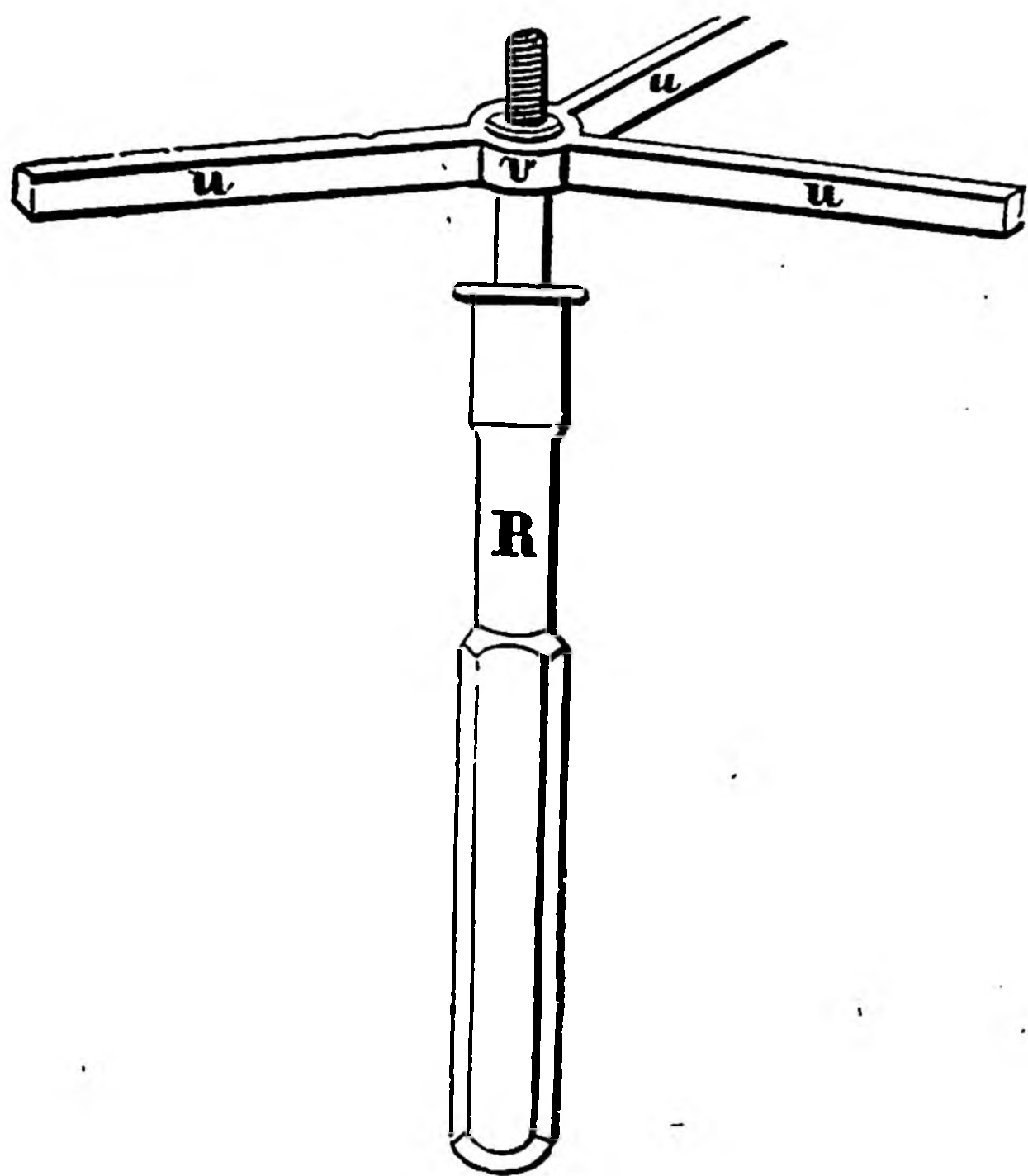
Черт. 287.



Въ брускѣ  $i$  помѣщена гайка, чрезъ которую проходитъ микрометричный винтъ  $M$ . Такъ какъ конецъ этого винта не можетъ выходить изъ верхней доски, то при поворачиваніи она будетъ медленно вращаться на средней доскѣ около стержня  $q$ , какъ около оси. Къ доскѣ  $C$  (чертежъ 286) подставки прикрѣплены двѣ деревянные планки  $n$ , на которыя накладывается планшетъ. Закрѣпленіе его при подставкѣ производится становымъ винтомъ  $R$ , проходящимъ чрезъ круглыя отверстія, сдѣланныя во всѣхъ трехъ доскахъ  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , и чрезъ мѣдное кольцо  $v$  (черт. 288) съ тремя вѣтвями  $u$ , а сверху его навинчивается гайка, вложенная въ планку, помѣщенную въ срединѣ доски  $C$  (черт. 286). По закѣпленіи становаго винта  $R$  въ планшетъ, вѣтви прижимаются къ нижней поверхности доски  $C$  и чрезъ это планшетъ дѣлается на

подставкѣ неподвижнымъ; съ ослабленіемъ же становаго винта планшета можно сообщить грубое вращеніе и даже передвиженіе по верху планокъ *n* настолько, насколько это позволяютъ круглыя отверстія по срединѣ досокъ *A*, *B* и *C*.

Черт. 288.



единенные между собою также шарнирами и подъемными винтами. Встрѣчающаяся кое-гдѣ въ такомъ видѣ мензула Стефана очень тяжела.

**§ 140.** Сдѣлаемъ сравненіе мензулъ, описанныхъ въ предыдущемъ.

Наибольшую устойчивость пользуется мензула Стефана, потому что имѣетъ наибольшую по размѣрамъ подставку. Главнѣйшее же преимущество ея передъ мюнхенскою состоитъ въ томъ, что для приведенія плоскости планшета въ горизонтальное положеніе нѣтъ надобности ослаблять становой винтъ, тогда какъ это необходимо сдѣлать въ мензулѣ Рейссига, гдѣ становой винтъ притягиваетъ планшетъ къ верхней части подставки и къ подъемнымъ винтамъ, которые поэтому нельзя поворачивать не ослабивъ становаго винта. Между тѣмъ закрѣпленіе становаго винта послѣ приведенія планшета въ горизонтальное положеніе можетъ измѣнить эту горизонтальную установку. Недостаткомъ мензулы Стефана служитъ большой ея вѣсъ. Вслѣдствіе этого а также вслѣдствіе сложности и меньшей прочности подставки мензулы Стефана въ большей части случаевъ ей предпочитается мензула мюнхенская, тѣмъ болѣе что эта послѣдняя имѣетъ достаточную устойчивость.

Наконецъ при такихъ съемкахъ, которыя должны быть произведены на-скоро и не требуютъ высшей, возможной для мензулы, точности, употребляются блокъ-мензулы, большая и малая, изъ которыхъ первая имѣетъ сравнительно большую устойчивость. Обѣ эти мензулы могутъ быть приведены въ горизонтальное положеніе только грубо, посредствомъ ножекъ штатива, ибо онѣ не имѣютъ подъемныхъ винтовъ;

И такъ группируя всѣ винты, которыми нужно дѣйствовать при употребленіи мензулы Стефана, нужно сказать, что винтъ *R* есть *становой* и вмѣстѣ съ тѣмъ *нажимательный* для планшета, ибо онъ прекращаетъ грубое движеніе этого послѣдняго, *M* есть *микрометричный* винтъ, а *p* и *p'* — *подъемные* винты, служащіе для приведенія верхней плоскости планшета въ горизонтальное положеніе.

Въ заключеніе надо еще добавить, что при первоначальномъ устройствѣ мензулы Стефана, вмѣсто квадратныхъ деревянныхъ досокъ *A*, *B* и *C*, были употреблены мѣдные треугольники, со-

но за то, и въ особенности малая блокъ-мензула, гораздо легче мензулы Стефана и даже Рейссига.

§ 141. Отъ предыдущихъ мензулъ требуется выполнение слѣдующихъ условій:

1) *Мензула должна быть устойчива*, т. е. послѣ закрѣпленія нажимательнаго винта планшетъ не долженъ измѣнять своего положенія при легкомъ прикосновеніи къ нему съемщика. Это условіе повѣряется тѣмъ, что на доску кладутъ визирный снарядъ, визируютъ въ него на какую нибудь точку мѣстности и проводятъ на доскѣ карандашемъ вдоль ребра линейки этого снаряда черту; потомъ легкимъ нажимомъ пальца сбоку угла доски выводятъ ее немного изъ неподвижнаго положенія и отстранивъ палецъ убѣждаются въ томъ, что ребро линейки визирнаго снаряда не сдвинулось съ прочерченной на планшетѣ линіи, а волосокъ визирнаго снаряда не сдвинулся съ точки мѣстности, которую онъ покрывалъ при первоначальномъ визированіи. Если это выполняется при прикладываніи пальца съ обѣихъ сторонъ угла доски, то говорятъ, что она только *пружинитъ*, но достаточно устойчива; въ противномъ случаѣ надо обнаружить то мѣсто подставки или штатива, въ которомъ они шатаются, и поручить исправленіе механику.

2) *Верхняя поверхность планшета должна быть плоскостью*. Это условіе повѣряется такъ, какъ указано было въ концѣ § 79. А именно: прикладываютъ къ поверхности доски по различнымъ направленіямъ ребро вывѣренной линейки; если оно каждый разъ плотно, безъ просвѣтовъ, прилегаетъ къ доскѣ, то условіе выполнено. Исправленіе поручается механику.

3) *Верхняя плоскость планшета должна быть перпендикулярна къ вертикальной оси вращенія его*. Ставятъ на доску вывѣренный уровень (см. § 65, пунктъ *a* или *d*) и приводятъ пузырекъ его на средину трубки; затѣмъ обращаютъ планшетъ около его вертикальной оси и смотрятъ, не сходитъ ли пузырекъ съ мѣста. Если нѣтъ, то условіе выполнено; въ противномъ случаѣ исправленіе поручается механику.

§ 142. Необходимыми для каждой мензулы принадлежностями служатъ: уровень, вилка, алидада или кипрегель и буссоль.

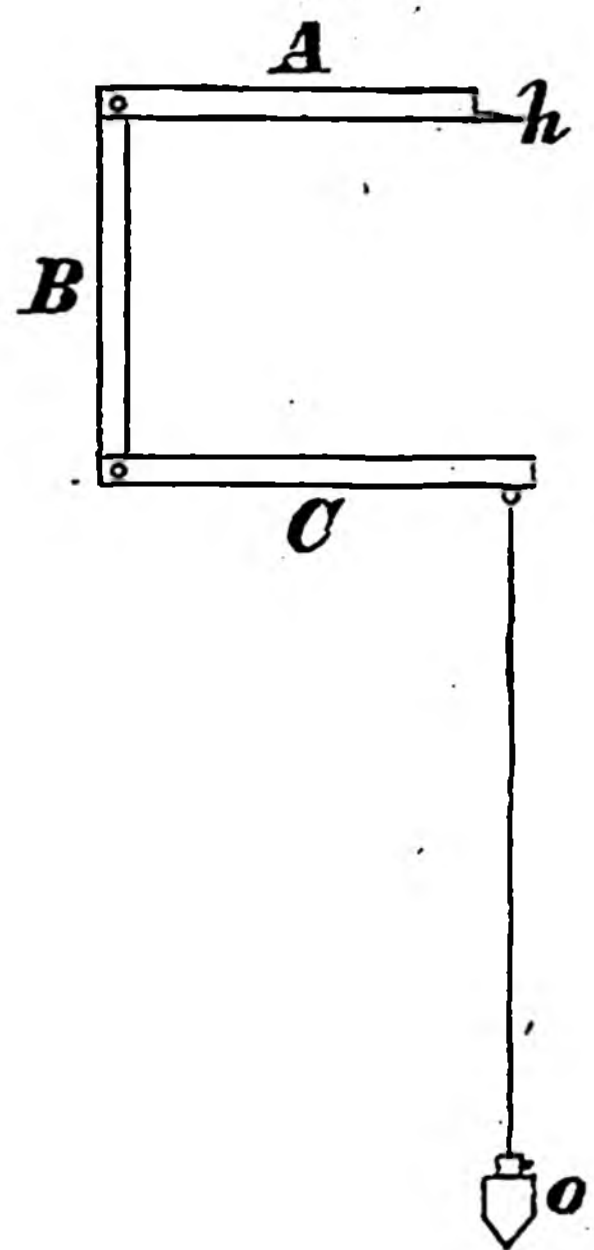
*Уровень* служитъ, какъ извѣстно, для приведенія плоскости инструмента, въ настоящемъ случаѣ плоскости планшета, въ горизонтальное положеніе. При мензулѣ употребляется или круглый уровень, или одинъ цилиндрическій, или два цилиндрическихъ, сложенныхъ подъ прямымъ угломъ. Иногда уровень не составляетъ *отдѣльной* принадлежности мензулы, а прикрѣпляется къ линейкѣ нижеописываемой алидады \*).

\*) Устройство, повѣрку и употребленіе круглаго и цилиндрическаго уровней см. въ §§ 61, 65 (пункты *a* и *d*) и 66.

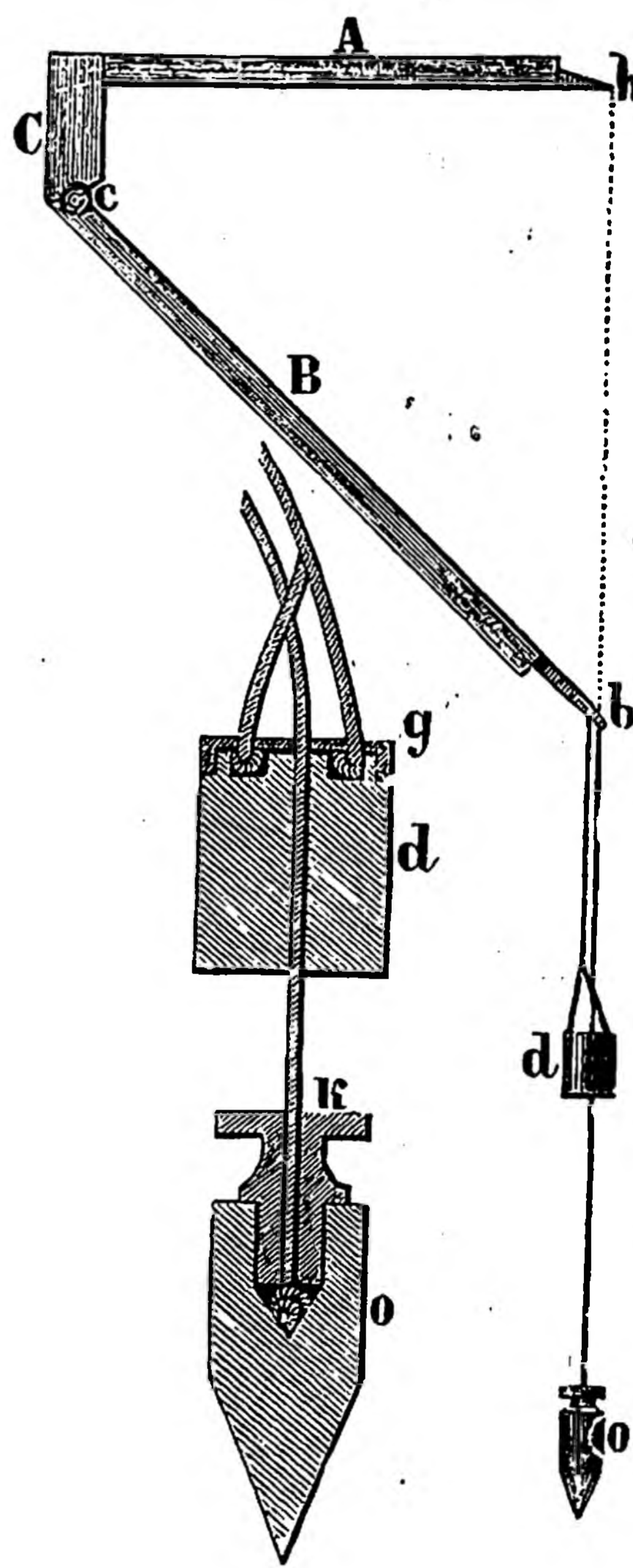
§ 143. Мензурная вилка служитъ для установки мензулы данною на ея планшетѣ точкою отвѣсно надъ соотвѣтственною точкою мѣстности и для проектированія точки мѣстности на планшетѣ. Вилки которыя можно употреблять при наибольшей вышиинѣ подставки мензулы, принадлежатъ мюнхенскому механику *Эртелю* и кассельскому механику *Брейтгаупту*.

Вилка *Эртеля* состоитъ изъ трехъ деревянныхъ планокъ *A*, *B* и *C* (черт. 289), соединенныхъ между собою въ углахъ шарнирами и потому могущихъ при переноскѣ складываться. Въ концѣ планки *A* закрѣплена мѣдная заостренная пластинка *h*, концомъ которой вилка прикладывается къ данной на планшетѣ точкѣ. Къ нижней планкѣ *C* привязывается, отвѣсно подъ остриемъ *h*, шнурокъ съ гирькою *o*.

Черт. 289.



Черт. 290.

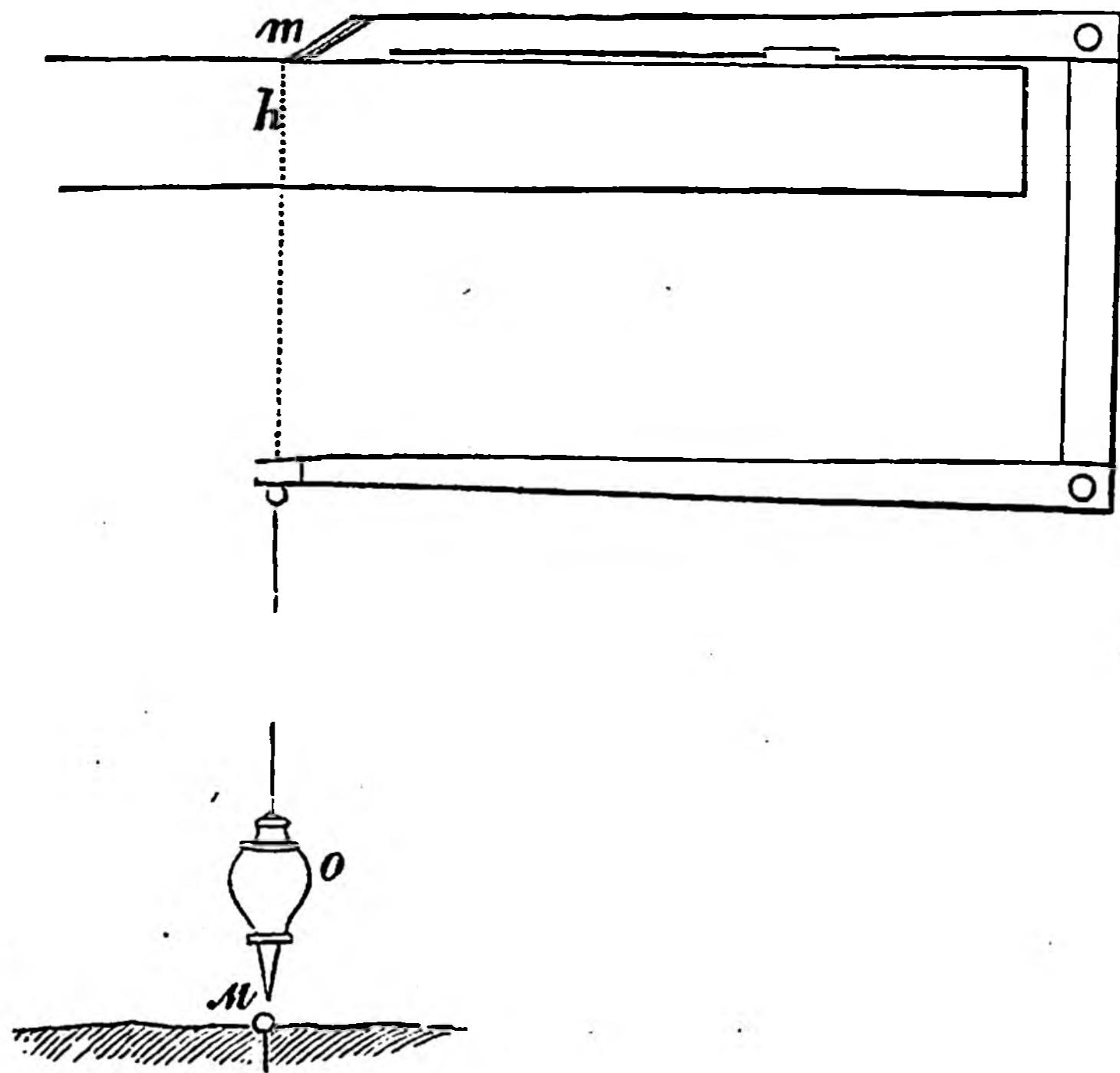


На черт. 290 изображена вилка *Брейтгаупта*. Она состоитъ тоже изъ трехъ планокъ: *A*, *B* и *C*, при чемъ планка *C* прикрѣплена къ *A*, а планка *B* соединена съ *C* посредствомъ оси *c*, около которой можетъ вращаться; когда конецъ *b* планки *B* находится отвѣсно подъ остриемъ *h* планки *A*, то планка *B* не можетъ быть отогнута далѣе. Въ *b* сдѣланы два отверстія, чрезъ которыя продѣвается шнурокъ, двойного отвѣса. Этотъ отвѣсъ состоитъ изъ двухъ гирекъ; одинъ конецъ шнурка раздвоенъ и прикрѣпленъ къ крышкѣ *g* верхней гирьки *d*, а другой конецъ, проходящій чрезъ средину этой гирьки, укрѣпленъ въ шляпкѣ *k*

нижней гирьки  $o$ . Гирьки  $d$  и  $o$  имѣютъ одинаковый вѣсъ и потому будутъ находиться въ равновѣсіи при всякомъ взаимномъ ихъ разстояніи. Для измѣненія этого разстоянія, что необходимо при измѣненіи высоты мензулы на различныхъ точкахъ стоянія ея на мѣстности, берутъ гирьку  $d$  и поднимаютъ или опускаютъ ее, чѣмъ и измѣняютъ высоту гирьки  $o$  надъ землею. Двойной отвѣсъ имѣетъ не только ту особенность, что гирька  $o$  можетъ быть съ удобствомъ устанавливаема на различныхъ высотахъ надъ землею, но также и ту, что будучи предоставленъ самому себѣ, быстрѣе приходитъ въ спокойное состояніе, чѣмъ простой, и слѣдов. ускоряетъ установку всякаго геодезическаго инструмента на мѣстности.

Установка мензулы на мѣстности такъ, чтобы данная на ея планшетѣ точка находилась надъ соотвѣтственною точкою мѣстности называется *центрированіемъ* мензулы. Оно производится посредствомъ вилки слѣдующимъ образомъ: мензула ставится сначала на глазъ точкою  $m$  (черт. 291) отвѣсно надъ точкою  $M$  мѣстности и притомъ приблизительно горизонтально; затѣмъ прикладываютъ остріе  $h$  вилки къ  $m$  и смотрятъ, совпадаетъ ли остріе отвѣса  $o$  съ точкою  $M$ . Если несовпаденіе довольно значительно, то переставляютъ всю мензулу на мѣстности настолько, чтобы это совпаденіе произошло, а при небольшомъ удаленіи ослабляютъ винты, прикрѣпляющіе доску къ подставкѣ и пе-

Черт. 291.



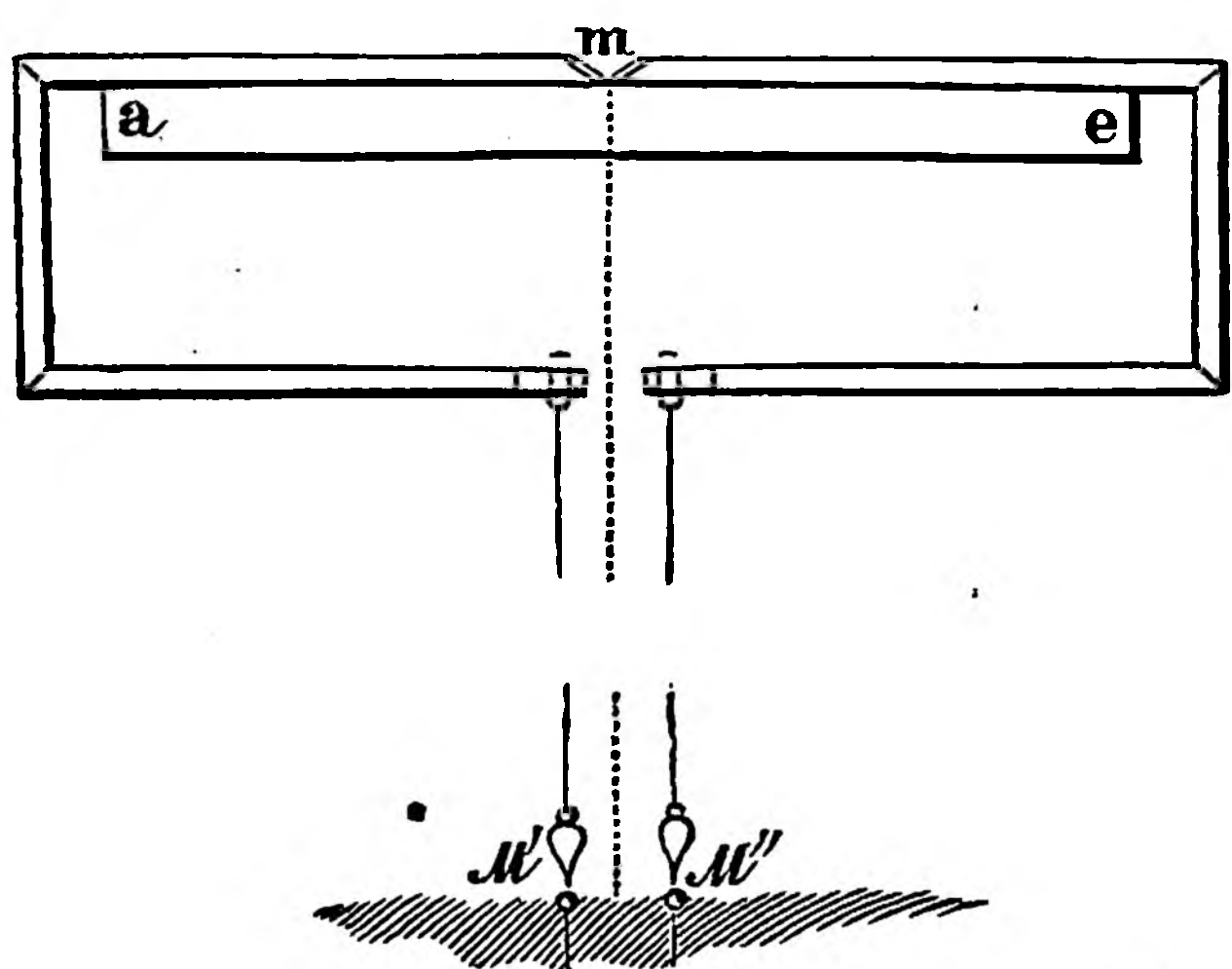
редвигаютъ ее на послѣдней. Этотъ послѣдній приемъ возможенъ только для мензулъ мюнхенскихъ и Стефана, ибо ихъ подставки имѣютъ отверстія, допускающія такое передвиженіе. Послѣ этой установки верхняя плоскость планшета приводится въ горизонтальное положеніе уже точно посредствомъ уровня.

При проектированіи точки  $M$  мѣстности на планшетѣ посредствомъ вилки, передвигаютъ вилку по планшету до тѣхъ поръ пока остріе отвѣса будетъ находиться надъ точкою  $M$ ; тогда точка  $m$  на планшетѣ, совпадающая съ остріемъ  $h$  вилки, будетъ искомою проекціею

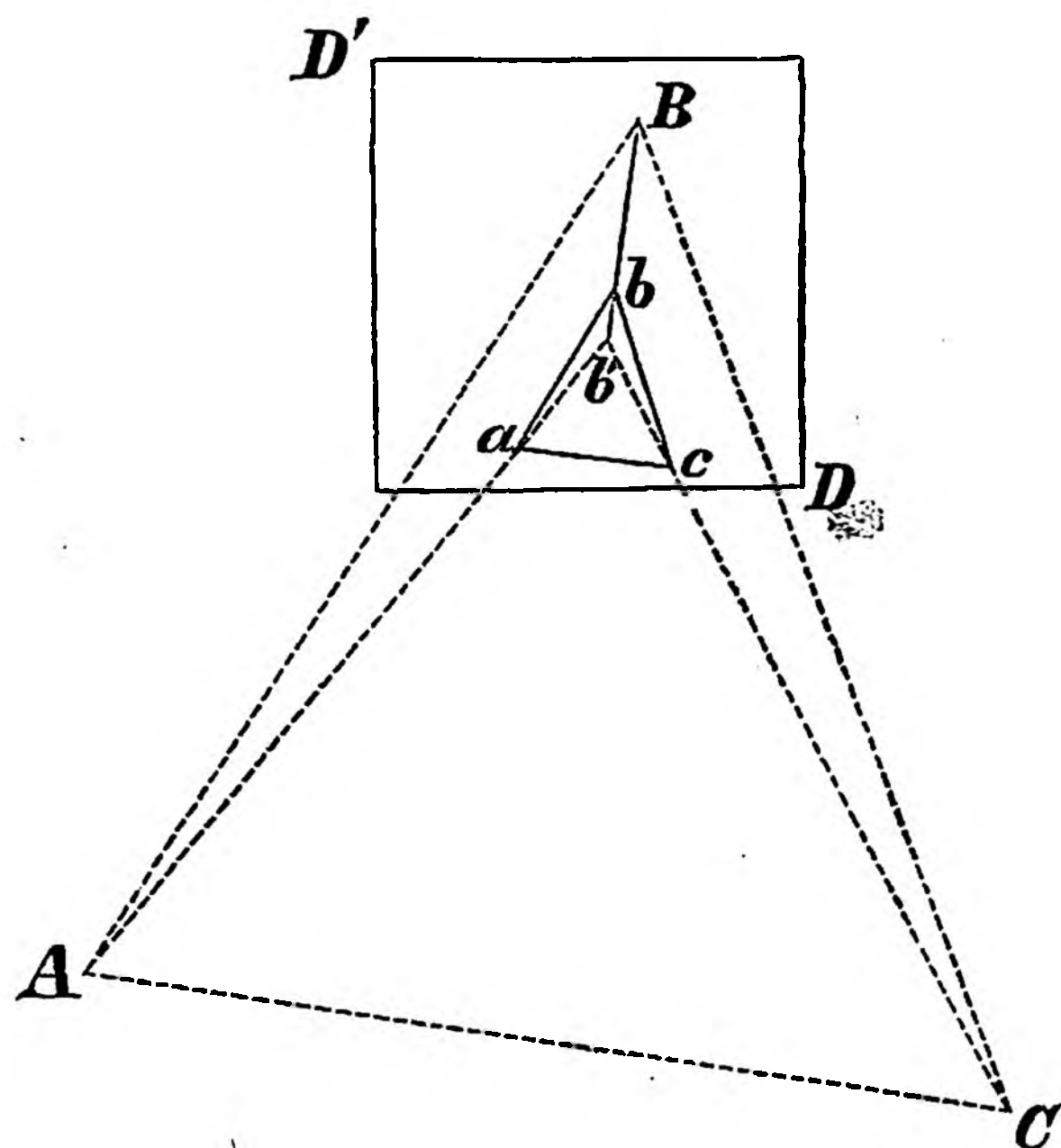
точки  $M$  на планшетъ. Понятно, что это дѣйствіе обладаетъ точностью меньшею, чѣмъ дѣйствіе обратное, т. е. перенесеніе точки съ планшета на мѣстность.

Изъ всего этого видно, что въ правильно устроенной вилкѣ когда нижній край планки  $A$  (черт. 289, 290) горизонталенъ, остріе вилки должно находиться на одной отвѣсной линіи съ остриемъ  $h$ . Повѣрка производится такъ: установивъ мензулу въ произвольной точкѣ горизонтально, выбираютъ на планшетѣ точку  $m$  (черт. 292), къ которой прикладываютъ остріе вилки и, давъ отвѣсу успокоиться, замѣчаютъ на мѣстности точку  $M'$ , соответствующую острію отвѣса. Послѣ этого прикладываютъ вилку къ той же точкѣ  $m$ , но съ противоположной стороны планшета, и вновь замѣчаютъ точку на мѣстности, соответствующую острію отвѣса. Если эта вторая точка  $M''$  не будетъ совпадать съ  $M'$ , то вилка подлежитъ исправленію; при чемъ мѣсто прикрѣпленія

Черт. 292.



Черт. 293.



шнура отвѣса нужно передвинуть настолько, чтобы остріе его соответствовало точкѣ, находящейся на срединѣ длины  $M'M''$ . Впрочемъ нѣтъ надобности въ точномъ выполненіи этого условія потому что, какъ сейчасъ увидимъ, центрированіе мензулы вполне достаточно производить въ большинствѣ случаевъ на глазъ, безъ посредства вилки. Въ самомъ дѣлѣ, пусть  $A$ ,  $B$  и  $C$  (черт. 293) суть три точки мѣстности, а  $a$ ,  $b$  и  $c$  — соответственные имъ точки на планшетѣ  $DD'$ , которая установлена на мѣстности въ точкѣ  $B$  такъ, что стороны треугольника  $abc$  параллельны сторонамъ треугольника  $ABC$ , но точка  $b$  не находится отвѣсно надъ точкою  $B$  мѣстности. Если теперь вообразимъ плоскости чрезъ  $A$ ,  $a$  и  $C$ ,  $c$ , то пересѣченіе ихъ съ планшетомъ дасть на этомъ послѣднемъ прямыя  $ab'$  и  $cb'$ , которыя пересѣкаются въ  $b'$ . Длина  $bb'$  выражаетъ на планшетѣ погрѣшность, происходящую отъ нецентрированія мензулы. Займемся теперь вопросомъ — насколько ошибочна можетъ быть центровка, чтобы эта погрѣшность не имѣла вліянія или, другими словами, какъ велико мо-

жетъ быть разстояніе  $bB$ , чтобы ошибка  $b'b$  была незамѣтна для глаза? Изъ подобныхъ треугольниковъ  $ab'c$  и  $Ab'C$ , а также  $ab'b$  и  $Ab'B$  имѣемъ:

$$\frac{ac}{AC} = \frac{ab'}{Ab'} = \frac{bb'}{b'B}.$$

Но первое отношеніе есть данный численный масштабъ съемки, который обозначимъ чрезъ  $\frac{1}{M}$ ; поэтому

$$\frac{1}{M} = \frac{bb'}{b'B}.$$

Откуда 
$$\frac{b'B - bb'}{bb'} = M - 1$$

или 
$$Bb = (M - 1)bb'.$$

Въ § 85 мы видѣли, что наименьшая длина на бумагѣ, различаемая свободно простымъ глазомъ, есть  $\frac{1}{200}$  доля дюйма. Принимая во вниманіе съ одной стороны, что эта длина  $\left(\frac{1}{200}$  доля дюйма) можетъ оказать вліяніе на послѣдующія дѣйствія съ мензулой, а съ другой стороны, что работа на мѣстности происходитъ всегда при обстоятельствахъ менѣе благопріятныхъ, чѣмъ въ комнатѣ, слѣдуетъ считать, что хотя высшій предѣлъ для  $bb'$  нужно принять менѣе  $\frac{1}{200}$  доли дюйма, однако не болѣе какъ въ два раза, такъ что  $bb' = \frac{1}{400}$  доли дюйма. Вслѣдствіе этого изъ равенства

$$Bb = \frac{1}{400}(M - 1)$$

для масштабовъ  $\frac{1}{8400}$ ,  $\frac{1}{4200}$ ,  $\frac{1}{2100}$  и  $\frac{1}{840}$  найдемъ соотвѣтственно  $Bb = 21,0$ ;  $10,5$ ;  $5,3$ ;  $2,1$  дюйма. Изъ этихъ чиселъ видно, что даже при масштабѣ 25 саж. въ дюймѣ центрированіе мензулы можетъ быть произведено на-глазъ, безъ посредства вилки; при масштабѣ же 10 и менѣе сажень въ дюймѣ необходимо употреблять для этого вилку.

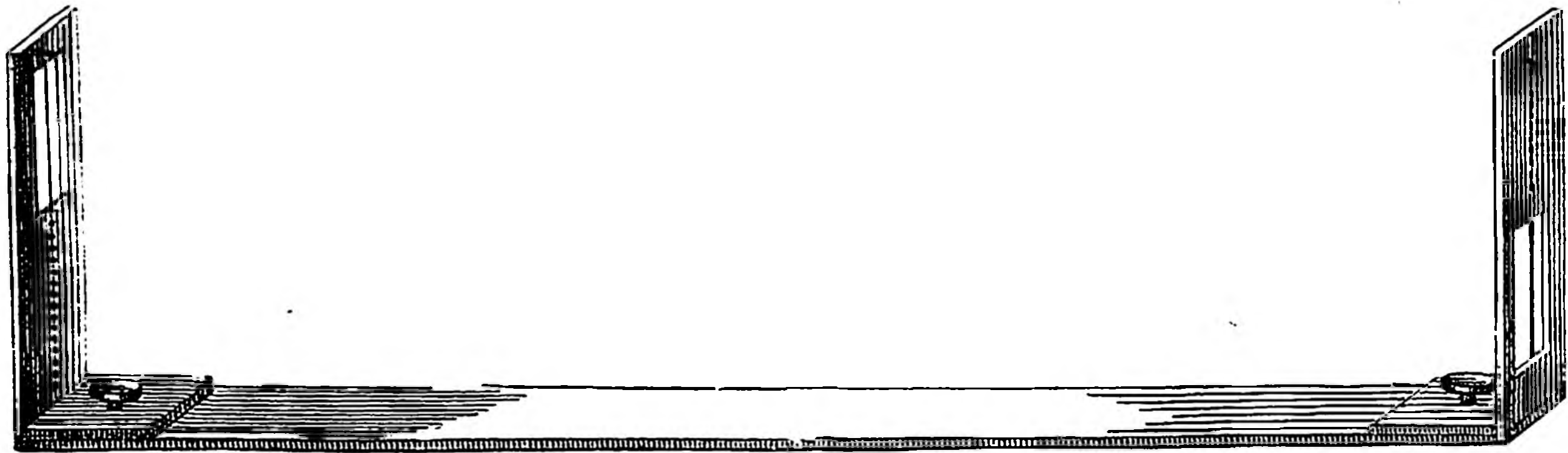
**§ 144. Алидада.** Для визированія на точки мѣстности и проведенія на планшетѣ линій визированія, при мензульной съемкѣ употребляется *алидада*. Такъ называется мѣдная линейка со скошенными ребрами, длиною почти равная сторонѣ планшета и съ находящимися на концахъ ея діоптрами (черт. 294). Такъ какъ мѣдная линейка при продолжительномъ употребленіи алидады мараеетъ бумагу, наклеенную на планшетѣ, то во избѣжаніе этого нижняя ея поверхность подклеивается бумажною или соломенною полоскою. На каждомъ изъ діоптровъ сдѣланъ



какъ узкій, такъ и широкій прорѣзь; вслѣдствіе чего каждый изъ нихъ можетъ быть употребляемъ и за глазной, и за предметный.

Для полученія на планшетѣ посредствомъ алидады направленія линіи визированія на предметъ мѣстности, нужно послѣ центрировки мензулы и приведенія доски ея въ горизонтальное положеніе приложить скошенное ребро линейки алидады къ данной на планшетѣ точкѣ, визировать

Черт. 294.



черезъ діоптры на соотвѣтственную точку мѣстности, — для чего передвигать алидаду по мензулѣ около данной точки, пока волосокъ предметнаго діоптра будетъ покрывать точку мѣстности — и прочертить карандашемъ линію по одному изъ скошенныхъ реберъ линейки.

Алидада передъ употребленіемъ должна быть повѣрена. Она должна удовлетворять слѣдующимъ условіямъ:

1) *Нижняя поверхность линейки должна быть плоскостью, а скошенные ребра ея — прямыми линіями.* Эти условія повѣряются такъ же, какъ и въ простой чертежной линейкѣ (см. § 79).

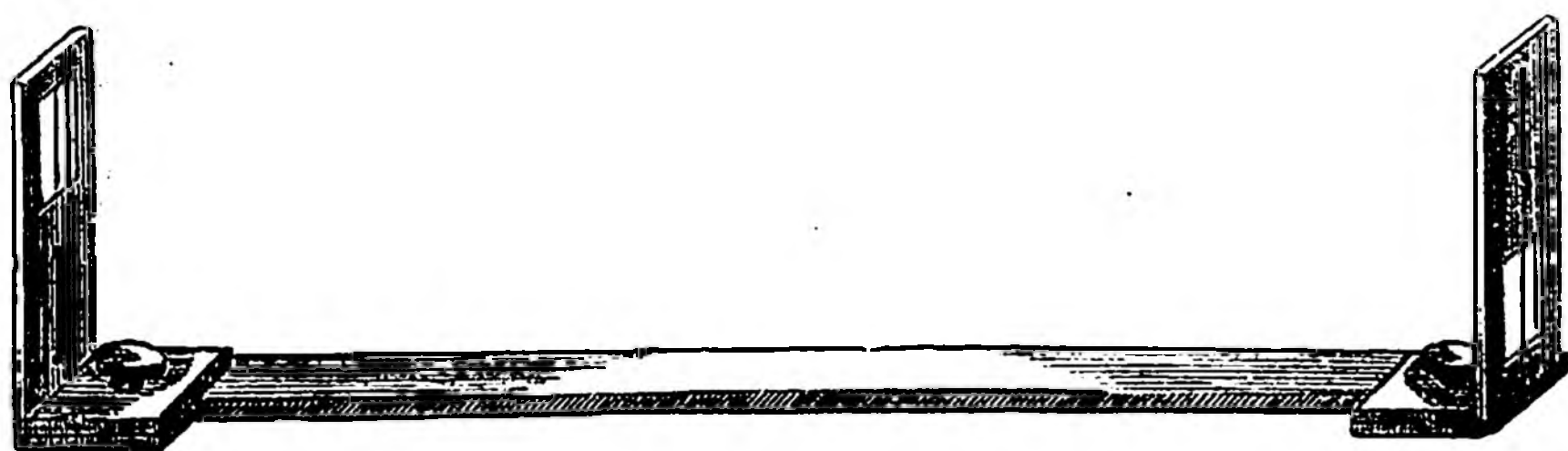
2) *Коллимаціонныя плоскости діоптровъ должны быть перпендикулярны къ нижней плоскости линейки.* Приводятъ доску въ горизонтальное положеніе, вѣшаютъ въ 15—20 саженьхъ шнуръ съ отвѣсомъ, кладутъ алидаду на планшетъ и направляютъ коллимаціонную ея плоскость на шнуръ. Если смотря въ разныя мѣста глазнаго прорѣза волосокъ предметнаго діоптра будетъ казаться покрывающимъ шнуръ на всемъ своемъ протяженіи, то условіе выполнено; въ противномъ случаѣ при невѣрно стоящемъ предметномъ діоптрѣ, волосокъ его будетъ пересѣкать шнуръ отвѣса, а при невѣрномъ глазномъ діоптрѣ волосокъ предметнаго будетъ сдвигаться со шнура, по мѣрѣ передвиженія глаза вдоль прорѣза глазнаго діоптра. Для исправленія положенія невѣрно стоящаго діоптра подкладываютъ подъ край его кусочекъ бумаги.

При этомъ предполагалось, что прорѣзь глазнаго діоптра сдѣланъ по прямой линіи, въ чемъ можно убѣдиться такимъ образомъ: если при передвиженіи глаза вдоль прорѣза волосокъ предметнаго діоптра или всегда будетъ покрывать шнуръ отвѣса, или будетъ все болѣе и болѣе отъ него отодвигаться, то прорѣзь представляетъ прямую линію; въ томъ же случаѣ когда при движеніи глаза по прорѣзу волосокъ то удаляется отъ шнура, то приближается къ нему, прорѣзь глазнаго діоптра не представляетъ прямой линіи, и этотъ недостатокъ можетъ быть исправленъ только механикомъ.

Такимъ же образомъ провѣряютъ и другую коллимаціонную плоскость. Если при вѣрности одной изъ нихъ другая будетъ невѣрна, то вывѣряютъ ту, которая будетъ удовлетворять слѣдующему послѣ сего условію; а именно:

3) *Коллимаціонныя плоскости должны или совпадать съ однимъ изъ скошенныхъ реберъ линейки, или быть ему параллельны.* Втыкаютъ въ доску на взаимномъ разстояніи нѣсколько меньшемъ длины линейки алидады двѣ тонкія иглы. Это дѣлается помощью чертежнаго прямоугольнаго треугольника, при чемъ одинъ катетъ его прикладывается къ планшету, а иголки втыкаются по направленію другаго катета. Въ воткнутымъ такимъ образомъ игламъ прикладываютъ ребро алидады; поворачивая осторожно доску, направляютъ одну изъ коллимаціонныхъ плоскостей алидады на точку отдаленнаго предмета и смотрятъ — покрываютъ ли обѣ иглы ту же точку предмета? если да, то условіе выполнено. Строго говоря, это покрытие будетъ выполнено только тогда, когда коллимаціонная плоскость проходитъ чрезъ ребро линейки (какъ у алидады черт. 295), а не параллельна ему; но въ виду ничтожности разстоянія коллимаціонной плоскости отъ ребра линейки

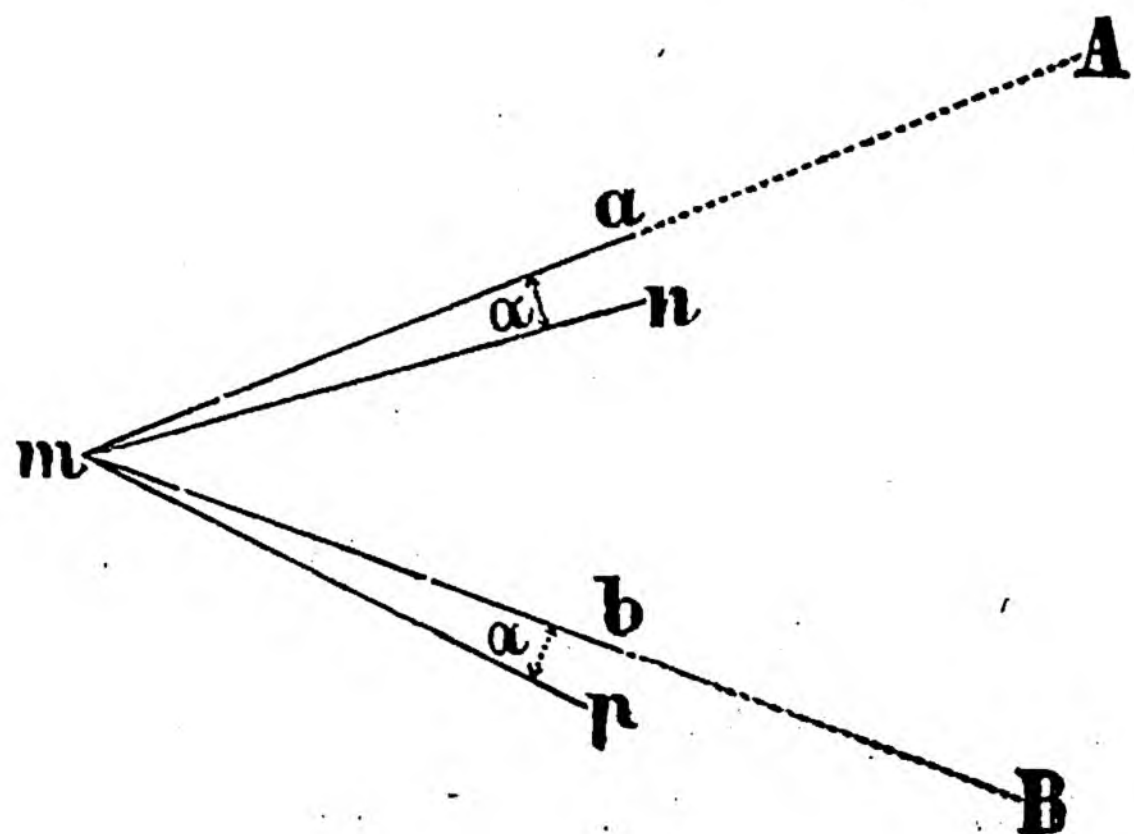
Черт. 295.



сравнительно съ разстояніемъ отъ мензулы до предмета, волосокъ діоптра будетъ покрывать ту же точку даже и тогда, когда коллимаціонная плоскость только параллельна ребру, а не совпадаетъ съ нимъ. Точно также повѣряется и другая коллимаціонная плоскость.

Это условіе повѣряется какъ видно не особенно точно, потому что оно совсѣмъ не имѣетъ вліянія на точность построения угла на мензулѣ, а имѣетъ значеніе только при употребленіи на ней буссоли. Въ виду же того, что точность отсчетовъ по буссоли есть  $\frac{1}{4}$  градуса, то достаточно если настоящее условіе будетъ выполнено съ точностью до  $\frac{1}{8}^\circ$ . Убѣдимся теперь пока въ томъ, что несоблюденіе настоящаго условія не вліяетъ на точность построения на мензулѣ угла, а впоследствии (въ § 147, о мензульной буссолѣ) убѣдимся въ остальномъ. Въ самомъ дѣлѣ, вообразимъ, что при точкѣ  $m$  (черт. 296) на планшетѣ начерченъ уголъ  $amb$ , заключающійся между направленіями на точки  $A$  и  $B$  мѣстности. Если плоскость визируванія составляетъ съ ребромъ линейки нѣкоторый уголъ  $\alpha = amn$ , то вмѣсто линіи  $ma$  мы будемъ имѣть линію

Черт. 296.



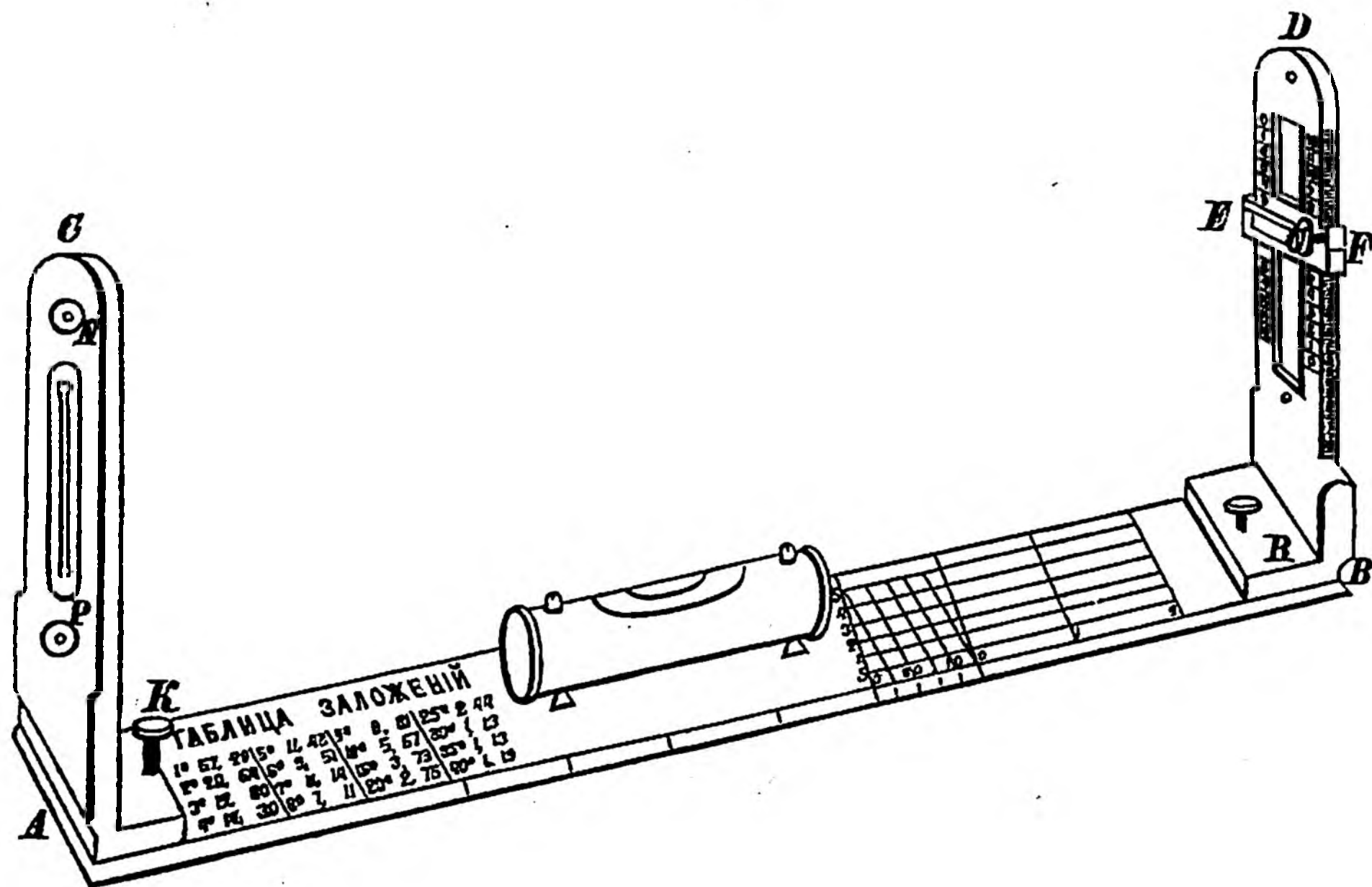
$mn$ ; точно также вмѣсто линіи  $mb$  будемъ имѣть линію  $mr$ , которая при употребленіи того же ребра линейки составляетъ съ  $mb$  уголъ  $brm$ , также равный  $\alpha$ . На этомъ основаніи, начерченный на планшетѣ уголъ  $mtr$  равенъ дѣйствительному углу  $amb$ .

И такъ несоблюденіе настоящаго условія не имѣетъ значенія для угловъ при прочерчиваніи по планшету линій по одному и тому же ребру линейки алидады; поэтому во все время продолженія съемки нужно употреблять одну и ту же коллимаціонную плоскость и одно и то же ребро.

Если на линейкѣ алидады прикрѣпленъ цилиндрическій уровень, то, кромѣ предыдущихъ условій, требуется еще, чтобы ось уровня была параллельна нижней плоскости линейки. Производство этой повѣрки см. въ § 65, п. а).

§ 145. Если алидадою предполагается также опредѣлять углы накло-ненія линій мѣстности, то употребляютъ алидаду, устроенную *Максимо-вичемъ*. На глазномъ діоптрѣ  $AC$  (черт. 297) этой алидады имѣются, кромѣ

Черт. 297.



длиннаго узкаго прорѣза для обыкновеннаго визированія, еще два круг-лые отверстія  $N$  и  $P$ , которыя употребляются при опредѣленіи угловъ наклоненія; при чемъ къ верхнему отверстию приставляется глазъ при углахъ пониженія, а къ нижнему — при углахъ повышенія. По обѣимъ

Черт. 298.



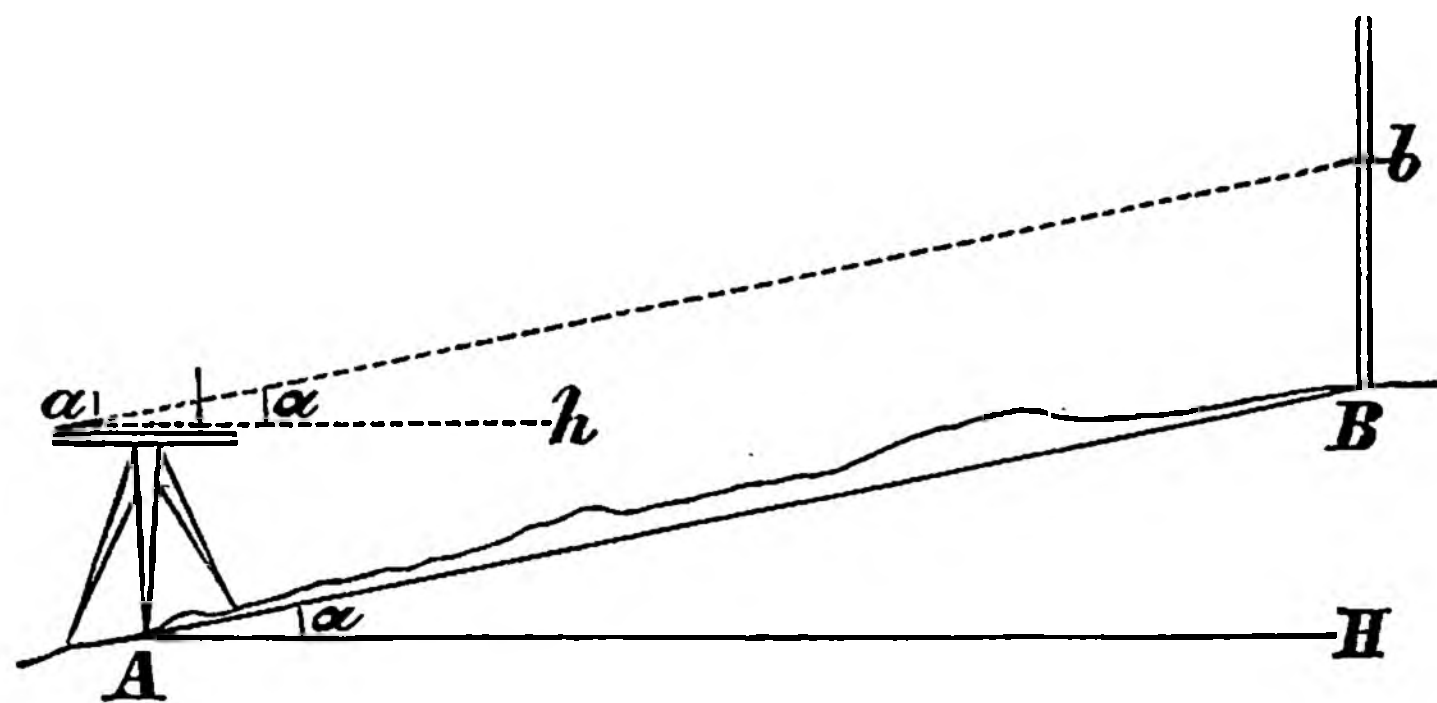
сторонамъ широкаго прорѣза предметнаго діоптра нанесены штрихи съ промежуткомъ въ  $1^\circ$ , подписанные отъ  $0^\circ$  до  $13^\circ$ . Эти промежутки настолько еще крупны, что можно оцѣнивать  $\frac{1}{4}^\circ$ . Нулевые штрихи отстоятъ отъ нижней поверхности линейки  $AB$  на такихъ же разстояніяхъ, какъ и соотвѣтственныя отверстія  $N$  и  $P$  на глазномъ діоптрѣ. Разстоянія же остальныхъ штриховъ отъ этихъ нулевыхъ можетъ быть получено изъ вычисленія катета  $ac$  (черт. 298) прямоугольнаго треугольника  $abc$ , въ которомъ  $ab$  есть разстояніе между діоптрами алидады или, все равно, раз-стояніе одного изъ отверстій  $N$  или  $P$  до соотвѣтственнаго верхняго или нижняго нулеваго штриха, а  $ac$  есть длина катета при углѣ  $abc$ , измѣ-няющемся отъ  $0^\circ$  до  $13^\circ$  чрезъ каждыя четверть градуса. Вычисленіе это производится по формулѣ

$$ac = ab \cdot \operatorname{tg} abc,$$

гдѣ углу  $abc$  даютъ послѣдовательно предыдущія числовыя значенія. При вычисленныхъ такимъ образомъ штрихахъ подписываются градусныя величины соотвѣтственныхъ угловъ. По предметному діоптру движется посредствомъ винта  $G$  (черт. 297) рама  $EF$ . Чтобы при опредѣленіи угловъ наклоенія не приводитъ планшета въ горизонтальное положеніе *точно*, что весьма затруднительно и отнимаетъ много времени при опредѣленіи съ одной точки стоянія нѣсколькихъ угловъ наклоенія, на срединѣ линейки имѣется уровень, а на концахъ ея винты  $K$  и  $R$ , вращая которые можно приподнимать тотъ или другой конецъ алидады, чѣмъ и приводитъ нижнюю плоскость линейки въ горизонтальное положеніе. Въ заключеніе надо сказать, что на верхней плоскости линейки  $AB$  награвированъ масштабъ и таблица заложений, изъ которыхъ послѣдняя необходима при изображеніи неровностей мѣстности.

Для опредѣленія на мѣстности посредствомъ алидады Максимовича угла наклоенія  $\alpha$  линіи  $AB$  (черт. 299), устанавливають въ одномъ изъ концовъ ея  $A$  мензулу, а въ другомъ концѣ  $B$  — вѣху, на которой отложена отъ ея низа высота верхней плоскости доски надъ землею. Послѣ того ставятъ алидаду на планшетъ, смотря въ длинный прорѣзь глазнаго діоптра направляютъ волосокъ предметнаго на вѣху  $B$  и, дѣйствуя винтами  $K$  и  $R$  (черт. 297) алидады, приводятъ пузырекъ уровня на средину. Затѣмъ при

Черт. 299.



углѣ повышенія смотрятъ въ нижнее отверстіе  $P$  и, вращая винтъ  $G$ , приводятъ нижнее ребро рамы  $EF$  въ совпаденіе съ тою точкою на вѣхѣ, которая находится на высотѣ планшета. Наконецъ отсчетъ по тому же ребру рамы на правой шкалѣ предметнаго діоптра дастъ искомый уголъ наклоенія линіи мѣстности. Справедливость этого видна изъ равенства угловъ  $BAN$  и  $bah$  (черт. 299), стороны которыхъ параллельны. При углахъ пониженія надо смотрѣть въ верхнее отверстіе глазнаго діоптра и на точку  $b$  вѣхи направлять верхнее ребро рамы. Строго говоря, для равенства угловъ  $BAN$  и  $bah$ , слѣдовало бы на вѣхѣ  $B$  откладывать до точки  $b$  не высоту верхней плоскости планшета, а высоту нижняго или верхняго отверстія надъ землею, но въ виду незначительной разницы этихъ высотъ между собою сравнительно съ разстояніемъ отъ мензулы до вѣхи  $B$  и главнымъ образомъ въ виду незначительной точности опредѣленія угловъ наклоенія этою алидадою, принимаютъ, что высоты надъ землею верхней плоскости планшета и круглыхъ отверстій глазнаго діоптра одинаковы.

Передъ употребленіемъ алидады Максимовича необходимо ее повѣрить. Кромѣ условій, которымъ должна удовлетворять простая алидада, надо убѣдиться въ томъ, что ось уровня, помещеннаго на линейкѣ, параллельна съ нижней ея плоскостью, что дѣлается, какъ уже сказано, по § 65, п. а).

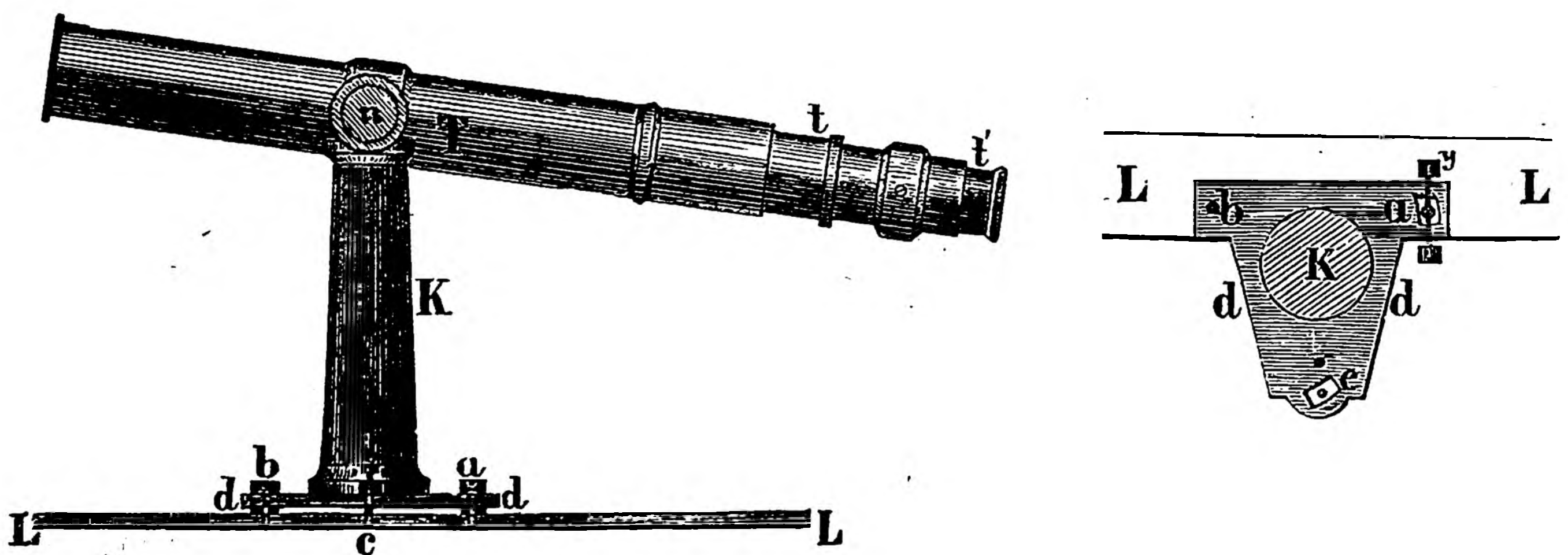
Встрѣчается также и видоизмѣненіе этой алидады, состоящее въ томъ, что оба діоптра имѣютъ широкіе прорѣзы и на сторонахъ, обращенныхъ къ глазу съемщика, назначены дѣленія въ  $\frac{1}{20}$  долю дюйма, начинающіяся на одинаковой высотѣ. Въ срединѣ прорѣза предметнаго діоптра натянутъ вертикальный волосокъ, а вдоль глазнаго діоптра двигается рама, на которой сдѣлано круглое остріе. Визируя чрезъ него приводятъ во-

лосъ предметнаго діоптра въ совмѣщеніе съ потребною точкою предмета. Алидада сопровождается рейкою съ двумя цѣлями, укрѣпленными въ опредѣленномъ (напр. 1 саж.) взаимномъ разстояніи. Такая алидада служитъ для опредѣленія относительныхъ высотъ точекъ и разстояній между ними.

§ 146. *Кипрегели*\*). Вслѣдствіе недостатковъ діоптровъ, на линейкѣ алидады вмѣсто ихъ утверждается зрительная труба, и тогда этотъ снарядъ называется *кипрегелемъ*.

а) *Кипрегель простѣйшаго устройства* состоитъ изъ мѣдной линейки *L* (черт. 300), на которой помѣщается треугольная мѣдная дощечка *dd* съ укрѣпленною на ней колонною *K*. На верху эта колонна оканчивается пустымъ горизонтальнымъ цилиндромъ, чрезъ который проходитъ горизонтальная ось вращенія трубы, закрѣпляемая въ этомъ цилиндрѣ винтомъ *n*. Труба можетъ быть вращаема около своей оси послѣ

Черт. 300.



ослабленія этого нажимательнаго винта. Мѣдная дощечка *dd* поддерживается на линейкѣ *L* тремя винтами *a*, *b* и *c*, которые служатъ для установки трубы кипрегеля такъ, чтобы коллимаціонная плоскость ея была перпендикулярна къ нижней плоскости линейки и параллельна или совмѣщалась бы съ скошеннымъ ея ребромъ; а потому винты *a*, *b* и *c* суть исправительные для трубы кипрегеля, при чемъ такъ какъ подъ головками винтовъ *a* и *c* сдѣланы дугообразные вырѣзы съ центромъ въ *b*, то ослабивъ *a* и *c* можно повернуть колонну около *b* и сдѣлать коллимаціонную плоскость параллельною съ ребромъ линейки. Дѣйствуя однимъ только винтомъ *c*, ввертывая или вывертывая его, можно наклонять колонну въ плоскости, перпендикулярной къ плоскости чертежа. Передъ употребленіемъ трубы нужно разумѣется установить окуляръ ея такъ, чтобы во 1) нити сѣтки представлялись черными рѣзкими чертами, во 2) предметы видимы были въ трубу съ возможною ясностью и въ 3) не существовало параллакса нитей. Эта установка

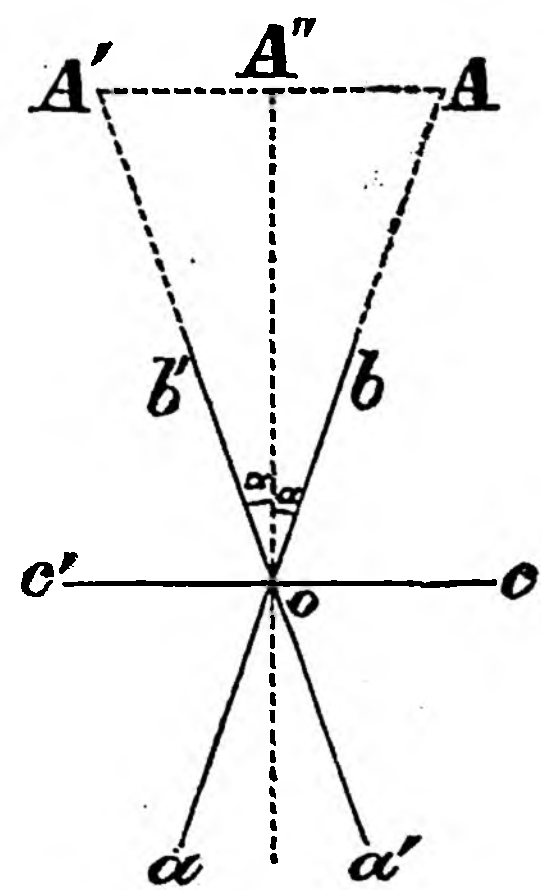
\*) Происходитъ отъ нѣмецкаго слова *kippen* — вращаться, опрокидываться и франц. слова *règle* — линейка.

объяснена въ § 43. Къ сказанному остается еще добавить, что труба имѣетъ по большей части окуляръ Гюйгенса и что на верхней плоскости линейки  $L$  чертится масштабъ, а иногда закрѣпляется уровень.

Отъ этого кипрегеля требуется выполнение тѣхъ же условій, что и отъ алидады, съ тою только разницею, что слово „діоптры“ должно быть замѣнено словомъ „труба“; а вслѣдствіе этого измѣняется только производство повѣрки одного втораго условія, по которому коллимаціонная плоскость трубы должна быть перпендикулярна къ нижней плоскости линейки. Прежде чѣмъ заняться этою повѣркою надо сказать, что называется *переведеніемъ трубы чрезъ зенитъ*. Зенитъ, какъ извѣстно, есть высшая точка надъ горизонтомъ; перевести же трубу чрезъ зенитъ значитъ повернуть трубу около ея горизонтальной оси настолько, чтобы оптическая ось прошла чрезъ эту точку; при этомъ конечно предполагается, что коллимаціонная плоскость трубы отвѣсна, въ противномъ случаѣ труба при переведеніи не пройдетъ чрезъ зенитъ.

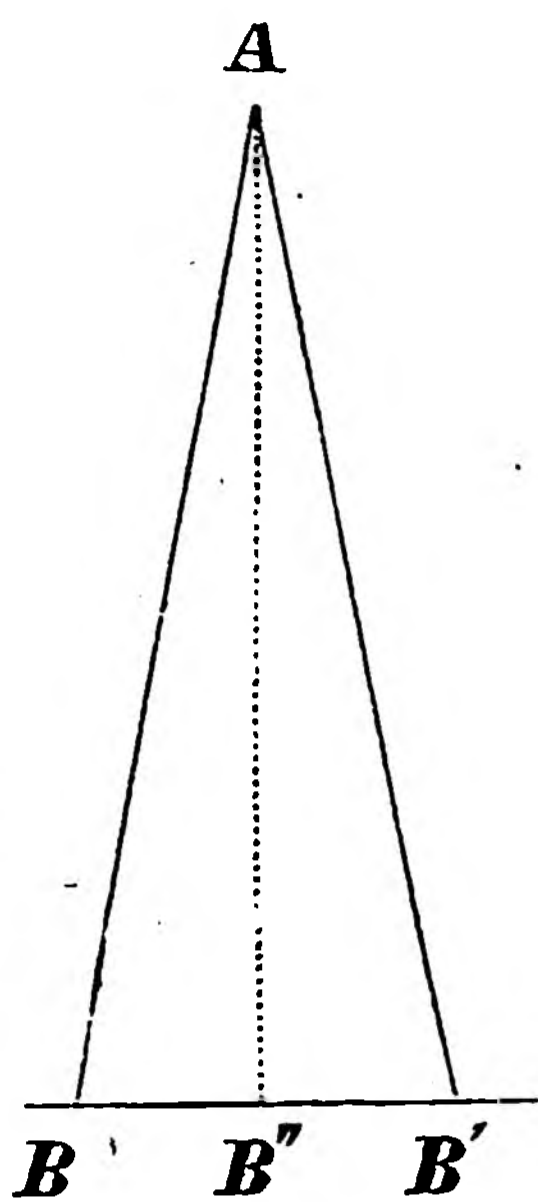
Для перпендикулярности коллимаціонной плоскости трубы къ нижней плоскости линейки необходимо соблюденіе двухъ условій: а) *оптическая ось трубы должна быть перпендикулярна къ горизонтальной ея оси вращенія* и б) *горизонтальная ось вращенія должна быть параллельна съ нижнею плоскостью линейки*. Оба эти условія могутъ быть повѣрены въ отдѣльности тогда, когда колонна кипрегеля настолько высока, что труба можетъ быть переведена чрезъ зенитъ. Въ этомъ случаѣ для повѣрки перваго изъ предыдущихъ условій ставятъ кипрегель на планшетъ, направляютъ пересѣченіе нитей на точку удаленнаго предмета, прочерчиваютъ линію по ребру линейки, переставляютъ кипрегель, придвинувъ ребро его линейки къ той же линіи, но съ другой ея стороны, переводятъ трубу чрезъ зенитъ и смотрятъ — покрываетъ ли пересѣченіе нитей ту же точку предмета. Если нѣтъ, то сѣтка передвигается боковыми винтами окулярнаго колѣна трубы, поддерживающими діафрагму съ сѣткою, на половину линіи уклоненія пересѣченія нитей отъ точки. Причина этого видна изъ слѣдующаго: пусть  $oc$  (черт. 301) есть горизонтальная ось вращенія трубы, а  $b$  — оптическая ея ось, составляющая съ перпендикуляромъ  $oA''$  къ  $oc$  уголъ  $\alpha$ . Если теперь приставимъ кипрегель съ другой стороны той же прочерченной линіи, то горизонтальная ось займетъ положеніе  $oc'$ , а оптическая ось трубы будетъ опять  $ab$ , но только въ точку  $b$  перемѣстится окуляръ, а въ точку  $a$  — объективъ; переведемъ же трубу чрезъ зенитъ, окуляръ перейдетъ въ  $a'$ , а объективъ въ  $b'$  и оптическая ось  $a'b'$ , описывая при переведеніи трубы чрезъ зенитъ коническую поверхность, покроетъ другую точку  $A'$ , составляя съ  $oA''$  тотъ же уголъ  $\alpha$ , а съ первоначальнымъ своимъ направлениемъ уголъ  $b'ob = 2\alpha$ . Слѣдов. для приведенія линіи визированія въ положеніе, перпендикулярное къ горизонтальной оси

Черт. 301.



вращенія  $os'$ , надо передвинуть сѣтку такъ, чтобы пересѣченіе нитей покрывало среднюю точку  $A''$ . Неперпендикулярность линіи визировація къ горизонтальной оси вращенія называется *коллимационною ошибкою трубы*. Другое условіе — параллельность горизонтальной оси трубы съ нижнею плоскостью линейки, при несоблюденіи котораго линія визировація описываетъ плоскость, наклоненную къ этой нижней плоскости линейки — повѣряется такъ: пересѣченіе нитей трубы направляютъ на высокую точку  $A$  (черт. 302) близкаго предмета, потомъ понижаютъ объективъ трубы, отнюдь не сдвигая линейки, и внизу того же предмета замѣчаютъ точку  $B$ , покрываемую пересѣченіемъ нитей. Затѣмъ переставляютъ кипрегель на доскѣ приблизительно на  $180^\circ$ , переводятъ трубу чрезъ зенитъ, вновь направляютъ ее на ту же высокую точку  $A$  и вновь понижаютъ объективъ: если пересѣченіе нитей можетъ быть при этомъ пониженіи приведено въ совмѣщеніе съ прежнею точкою  $B$ , то условіе выполнено; если же пересѣченіе нитей будетъ покрывать другую точку  $B'$ , то погрѣшность въ наклоненіи горизонтальной оси уничтожается наклоненіемъ колонны трубы посредствомъ винта  $c$  (черт. 300) настолько, чтобы пересѣченіе нитей покрывало точку  $B''$  (черт. 302), лежащую по срединѣ между  $B$  и  $B'$ .

Черт. 302.

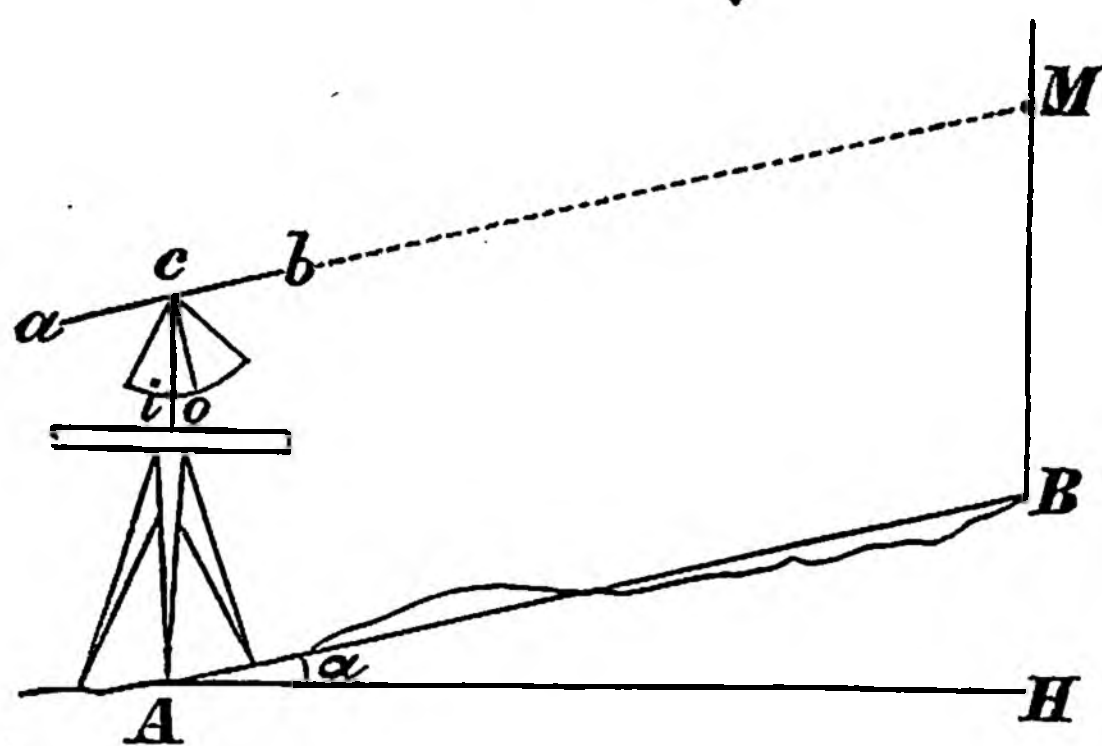


Такъ какъ исправительнымъ винтомъ  $c$  (черт. 300) придется дѣйствовать также при установкѣ коллимационной плоскости трубы параллельно съ краемъ линейки, то послѣ совершенія этой установки надо еще разъ повѣрить условіе  $b$ ):

Въ предыдущемъ предполагалось, что труба кипрегеля можетъ переводиться чрезъ зенитъ, если же это невозможно, то условія  $a$ ) и  $b$ ) должны быть повѣрены вмѣстѣ, а не въ отдѣльности. Такой способъ повѣрки основанъ на томъ, что, какъ уже сказано, при неперпендикулярности горизонтальной оси вращенія съ линіею визировація, эта послѣдняя при обращеніи около первой описываетъ коническую поверхность, а при непараллельности горизонтальной оси къ нижней плоскости линейки линія визировація описываетъ наклонную плоскость. Вслѣдствіе этого, если пересѣченіе нитей, будучи сначала наведено на высшую точку шнура съ отвѣсомъ, сойдетъ съ него по мѣрѣ пониженія трубы и будетъ постепенно удаляться, то горизонтальная ось непараллельна нижней плоскости линейки; если же пересѣченіе нитей, сойдя со шнура, пойдетъ по кривой линіи, т. е. сначала удаляясь отъ шнура, будетъ потомъ къ нему приближаться, то труба имѣетъ или одну только коллимационную ошибку, или же кромѣ того не соблюдено и условіе параллельности горизонтальной оси съ нижнею плоскостью линейки. Въ томъ и другомъ случаѣ начинаютъ съ уничтоженія коллимационной ошибки посредствомъ боковыхъ винтовъ сѣтки и добившись того, что оптическая ось описываетъ наклонную плоскость, а не поверхность, уничтожаютъ и эту погрѣшность винтомъ  $c$  колонны.

Для измѣренія на мѣстности угловъ наклоненія линій посредствомъ кипрегеля къ горизонтальной оси вращения его прикрѣпляется секторъ, который можетъ вращаться около этой оси вмѣстѣ съ самою трубою и нуль котораго совмѣщается съ индексомъ, прикрѣпленнымъ къ колоннѣ, въ то время когда оптическая ось трубы параллельна нижней плоскости линейки. Для измѣренія угла наклоненія  $\alpha$  лини  $AB$  (черт. 303), ставятъ въ одинъ конецъ  $A$  лини мензулу, на которой помѣщенъ кипрегель съ секторомъ, а въ другой конецъ  $B$  — вѣху съ замѣченною на ней точкою  $M$ , высота которой надъ землею равна высотѣ горизонтальной оси вращения. Приведя послѣ того планшетъ въ горизонтальное положеніе, направляютъ пересѣченіе нитей сѣтки на точку  $M$ . Если во время совмѣщенія нуля сектора съ индексомъ  $i$ , оптическая ось  $ab$  трубы была параллельна нижней плоскости линейки кипрегеля, то при наведеніи ея на точку  $M$  нуль сектора отодвигается отъ индекса вправо на уголь  $ico$ . Нетрудно изъ чертежа видѣть, что по перпендикулярности сторонъ уг.  $ico = \text{уг. } BAN = \alpha$ .

Черт. 303.



И такъ для измѣренія угловъ наклоненія линій мѣстности нужно привести планшетъ въ горизонтальное положеніе. Но мензульная доска, разъ приведенная въ это положеніе, не долго его сохраняетъ, ибо ни одна изъ мензуль не имѣетъ подставку настолько устойчивую, чтобы отъ передвиженія на ней кипрегеля эта установка не нарушалась. Хотя это нарушеніе вообще настолько мало, что не имѣетъ вліянія на точность горизонтальной съемки, тѣмъ не менѣе оно имѣетъ значеніе при опредѣленіи кипрегелемъ угловъ наклоненія; при чемъ каждый изъ нихъ будетъ ошибоченъ на величину угла наклоненія планшета по направленію данной лини мѣстности. Вслѣдствіе такого большаго вліянія негоризонтальности доски слѣдовало бы приводить ее въ горизонтальное положеніе по направленію каждой изъ линій, для которой опредѣляется уголь наклоненія, что было бы весьма утомительно и сопровождалось бы значительною потерей времени. Во избѣжаніе этого механикъ *Брейтгауптъ* въ Касселѣ предложилъ прикрѣплять къ трубѣ кипрегеля уровень, чѣмъ и устранилъ необходимость *точного* приведенія мензульной доски въ горизонтальное положеніе, а *Военно-Топографическій Отдѣлъ Главнаго Штаба* устроилъ такой кипрегель, при измѣреніи угла наклоненія которымъ въ необходимое положеніе приводится не доска, а та линія кипрегеля, отъ которой считаются эти углы.

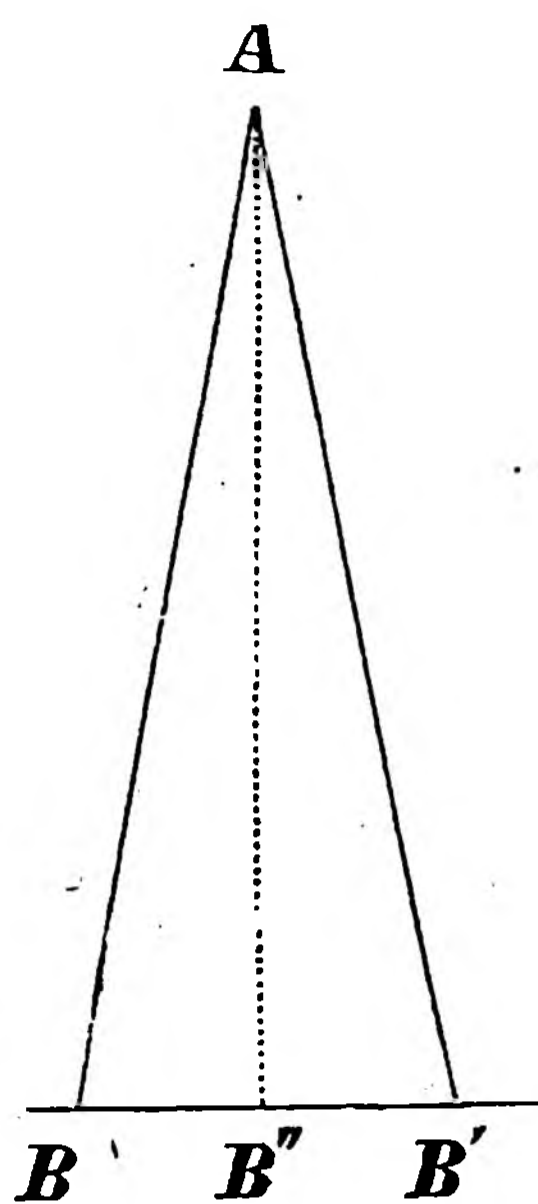
Разсмотримъ оба эти кипрегеля подробнѣе.

*б) Кипрегель съ уровнемъ на трубѣ.* Вертикальный кругъ или секторъ  $S$  (черт. 304) кипрегеля съ уровнемъ на трубѣ раздѣленъ въ обѣ стороны отъ середины на градусы и вращается вмѣстѣ съ поварачиваніемъ трубы. Для прекращенія этого грубаго вращенія служитъ нажимательный винтъ  $n$ , закрѣпивъ который труба можетъ быть вращаема



вращенія  $os'$ , надо передвинуть сѣтку такъ, чтобы пересѣченіе нитей покрывало среднюю точку  $A''$ . Неперпендикулярность линіи визировація къ горизонтальной оси вращенія называется *коллимационною ошибкою трубы*. Другое условіе — параллельность горизонтальной оси трубы съ нижнею плоскостью линейки, при несоблюденіи котораго линія визировація описываетъ плоскость, наклоненную къ этой нижней плоскости линейки — повѣряется такъ: пересѣченіе нитей трубы направляютъ на высокую точку  $A$  (черт. 302) близкаго предмета, потомъ понижаютъ объективъ трубы, отнюдь не сдвигая линейки, и внизу того же предмета замѣчаютъ точку  $B$ , покрываемую пересѣченіемъ нитей. Затѣмъ переставляютъ кипрегель на доскѣ приблизительно на  $180^\circ$ , переводятъ трубу чрезъ зенитъ, вновь направляютъ ее на ту же высокую точку  $A$  и вновь понижаютъ объективъ: если пересѣченіе нитей можетъ быть при этомъ пониженіи приведено въ совмѣщеніе съ прежнею точкою  $B$ , то условіе выполнено; если же пересѣченіе нитей будетъ покрывать другую точку  $B'$ , то погрѣшность въ наклоненіи горизонтальной оси уничтожается наклоненіемъ колонны трубы посредствомъ винта  $c$  (черт. 300) настолько, чтобы пересѣченіе нитей покрывало точку  $B''$  (черт. 302), лежащую по срединѣ между  $B$  и  $B'$ .

Черт. 302.

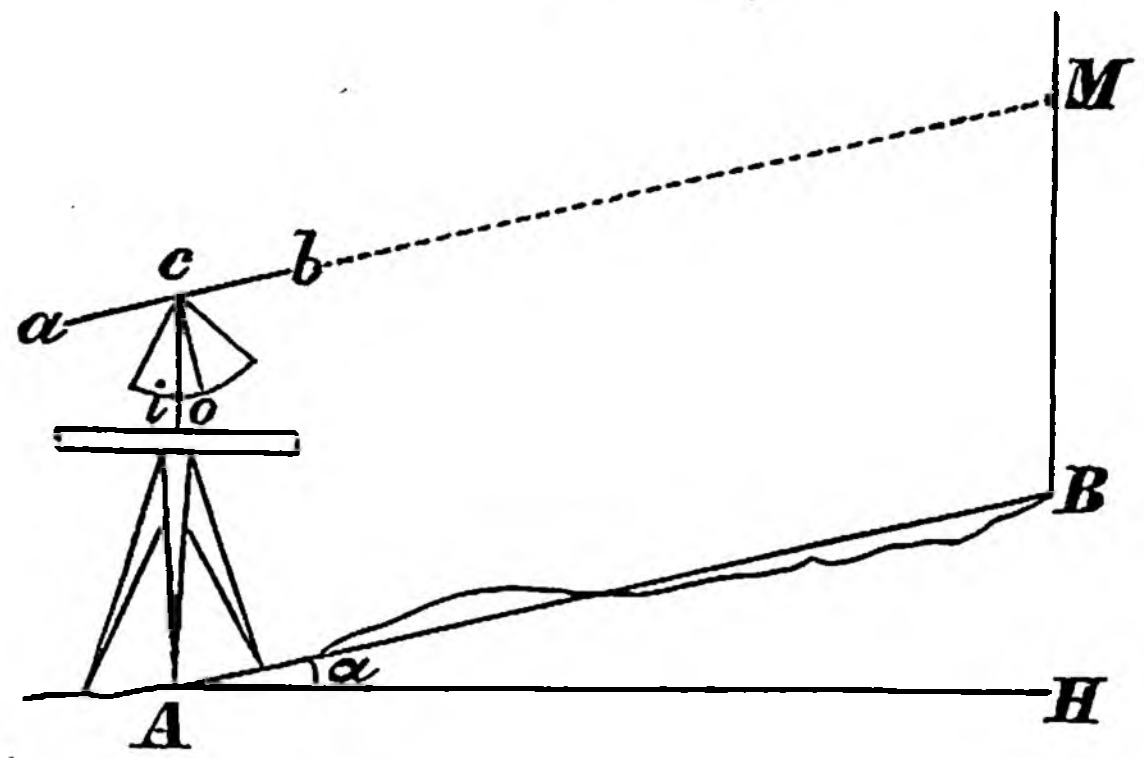


Такъ какъ исправительнымъ винтомъ  $c$  (черт. 300) придется дѣйствовать также при установкѣ коллимационной плоскости трубы параллельно съ краемъ линейки, то послѣ совершенія этой установки надо еще разъ повѣрить условіе  $b$ ):

Въ предыдущемъ предполагалось, что труба кипрегеля можетъ переводиться чрезъ зенитъ, если же это невозможно, то условія  $a$ ) и  $b$ ) должны быть повѣрены вмѣстѣ, а не въ отдѣльности. Такой способъ повѣрки основанъ на томъ, что, какъ уже сказано, при неперпендикулярности горизонтальной оси вращенія съ линіею визировація, эта послѣдняя при обращеніи около первой описываетъ коническую поверхность, а при непараллельности горизонтальной оси къ нижней плоскости линейки линія визировація описываетъ наклонную плоскость. Вслѣдствіе этого, если пересѣченіе нитей, будучи сначала наведено на высшую точку шнура съ отвѣсомъ, сойдетъ съ него по мѣрѣ пониженія трубы и будетъ постепенно удаляться, то горизонтальная ось непараллельна нижней плоскости линейки; если же пересѣченіе нитей, сойдя со шнура, пойдетъ по кривой линіи, т. е. сначала удаляясь отъ шнура, будетъ потомъ къ нему приближаться, то труба имѣетъ или одну только коллимационную ошибку, или же кромѣ того не соблюдено и условіе параллельности горизонтальной оси съ нижнею плоскостью линейки. Въ томъ и другомъ случаѣ начинаютъ съ уничтоженія коллимационной ошибки посредствомъ боковыхъ винтовъ сѣтки и добившись того, что оптическая ось описываетъ наклонную плоскость, а не поверхность, уничтожаютъ и эту погрѣшность винтомъ  $c$  колонны.

Для измѣренія на мѣстности угловъ наклоненія линій посредствомъ кипрегеля къ горизонтальной оси вращенія его прикрѣпляется секторъ, который можетъ вращаться около этой оси вмѣстѣ съ самою трубою и нуль котораго совмѣщается съ индексомъ, прикрѣпленнымъ къ колоннѣ, въ то время когда оптическая ось трубы параллельна нижней плоскости линейки. Для измѣренія угла наклоненія  $\alpha$  линіи  $AB$  (черт. 303), ставятъ въ одинъ конецъ  $A$  линіи мензулу, на которой помѣщенъ кипрегель съ секторомъ, а въ другой конецъ  $B$  — вѣху съ замѣченною на ней точкою  $M$ , высота которой надъ землею равна высотѣ горизонтальной оси вращенія. Приведя послѣ того планшетъ въ горизонтальное положеніе, направляютъ пересѣченіе нитей сѣтки на точку  $M$ . Если во время совмѣщенія нуля сектора съ индексомъ  $i$ , оптическая ось  $ab$  трубы была параллельна нижней плоскости линейки кипрегеля, то при наведеніи ея на точку  $M$  нуль сектора отодвигается отъ индекса вправо на уголь  $ico$ . Нетрудно изъ чертежа видѣть, что по перпендикулярности сторонъ уг.  $ico = \text{уг. } BAN = \alpha$ .

Черт. 303.



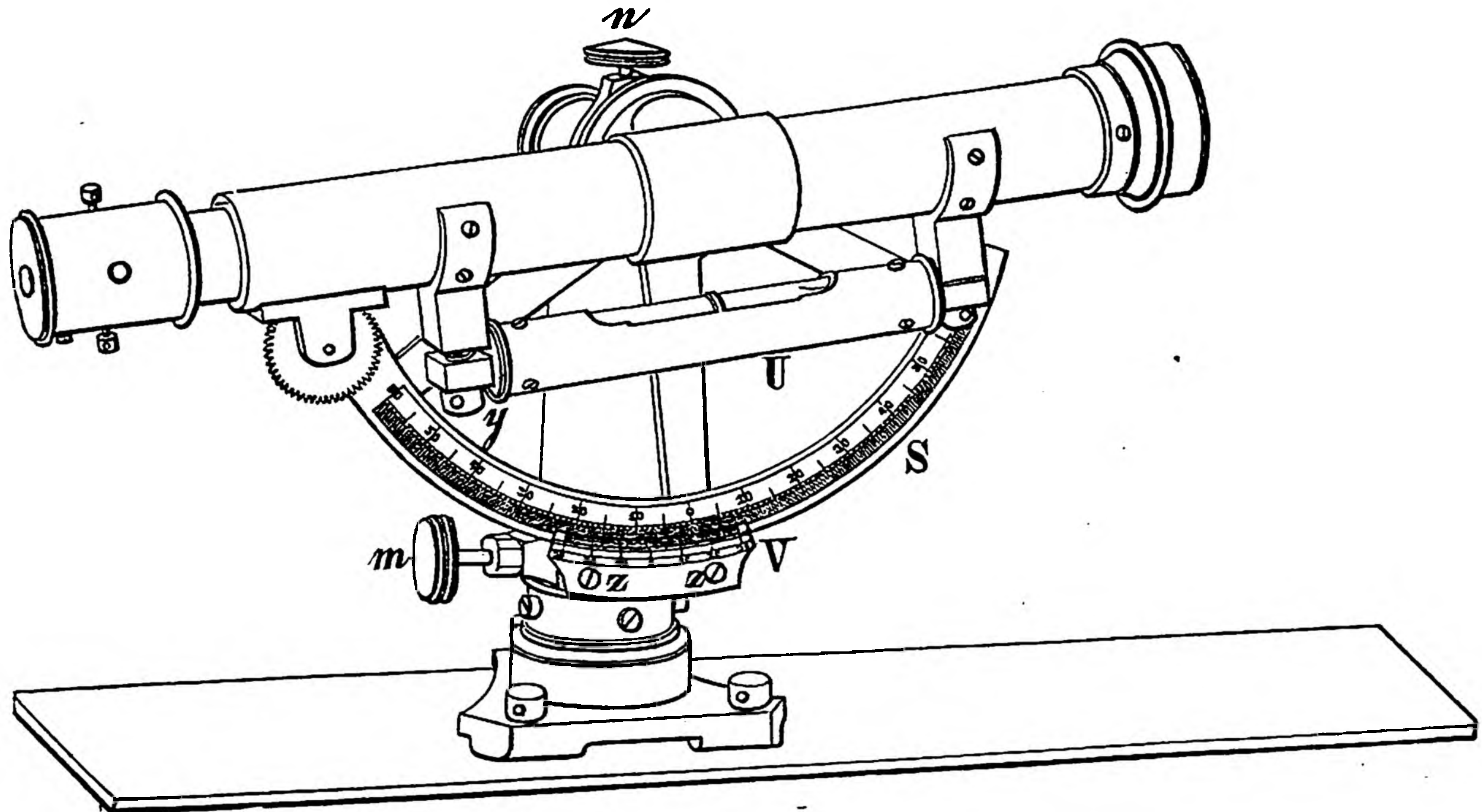
И такъ для измѣренія угловъ наклоненія линій мѣстности нужно привести планшетъ въ горизонтальное положеніе. Но мензульная доска, разъ приведенная въ это положеніе, не долго его сохраняетъ, ибо ни одна изъ мензулъ не имѣетъ подставку настолько устойчивую, чтобы отъ передвиженія на ней кипрегеля эта установка не нарушалась. Хотя это нарушеніе вообще настолько мало, что не имѣетъ вліянія на точность горизонтальной съемки, тѣмъ не менѣе оно имѣетъ значеніе при опредѣленіи кипрегелемъ угловъ наклоненія; при чемъ каждый изъ нихъ будетъ ошибоченъ на величину угла наклоненія планшета по направленію данной линіи мѣстности. Вслѣдствіе такого большаго вліянія негоризонтальности доски слѣдовало бы приводить ее въ горизонтальное положеніе по направленію каждой изъ линій, для которой опредѣляется уголь наклоненія, что было бы весьма утомительно и сопровождалось бы значительною потерей времени. Во избѣжаніе этого механикъ *Брейтгауптъ* въ Касселѣ предложилъ прикрѣплять къ трубѣ кипрегеля уровень, чѣмъ и устранилъ необходимость *точно* приведенія мензульной доски въ горизонтальное положеніе, а *Военно-Топографическій Отдѣлъ Главнаго Штаба* устроилъ такой кипрегель, при измѣреніи угла наклоненія которымъ въ необходимое положеніе приводится не доска, а та линія кипрегеля, отъ которой считаются эти углы.

Разсмотримъ оба эти кипрегеля подробнѣе.

*б) Кипрегель съ уровнемъ на трубѣ.* Вертикальный кругъ или секторъ  $S$  (черт. 304) кипрегеля съ уровнемъ на трубѣ раздѣленъ въ обѣ стороны отъ середины на градусы и вращается вмѣстѣ съ повараживаніемъ трубы. Для прекращенія этого грубаго вращенія служитъ нажимательный винтъ  $n$ , закрѣпивъ который труба можетъ быть вращаема

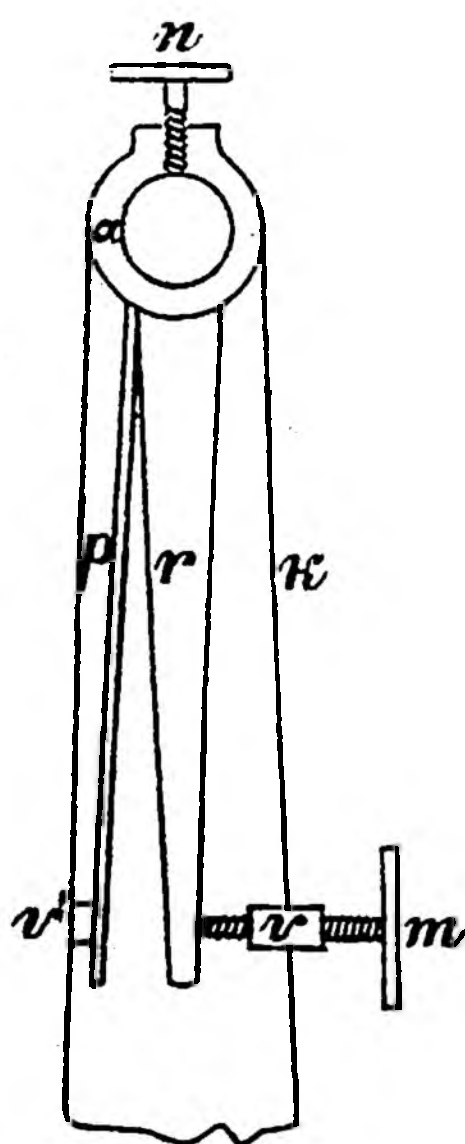
въ своей коллимаціонной плоскости только медленно посредствомъ микрометричнаго винта  $m$ . Дѣйствіе этого винта объясняется слѣдующимъ:

Черт. 304.



на конецъ горизонтальной оси вращения трубы надѣто кольцо  $a$  (черт. 305) съ рычагомъ  $r$ , проходящимъ между двумя брусками  $v$  и  $v'$  колонны  $K$  кипрегеля; чрезъ одинъ изъ этихъ брусковъ  $v$  проходитъ микрометричный винтъ  $m$ , а на другой брусокъ  $v'$  надавливаетъ пружина  $p$ , прикрѣпленная однимъ концомъ къ рычагу  $r$  и прижимающая этотъ

Черт. 305.



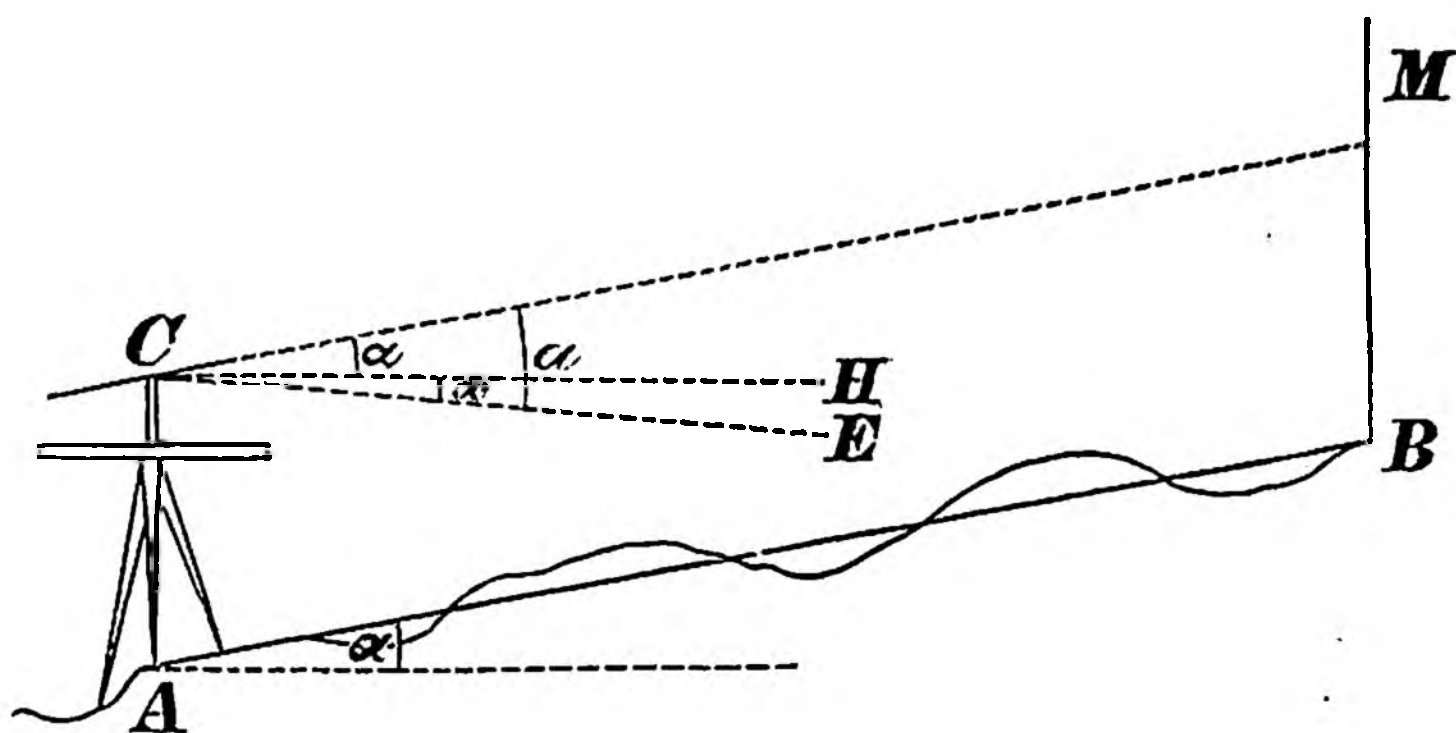
послѣдній къ микрометричному винту  $m$ . Понятно, что если нажимательный винтъ  $n$  будетъ закрѣпленъ, то медленное движеніе рычагу  $r$ , а съ нимъ вмѣстѣ и сектору съ трубою, можетъ быть сообщено поворачиваніемъ микрометричнаго винта  $m$ . Для отсчитыванія по сектору угловъ къ колоннѣ  $K$  прикрѣпленъ верньеръ  $V$  (черт. 304), а для упрощенія измѣренія кипрегелемъ угловъ наклона къ трубѣ прикрѣпляется уровень  $U$ , который въ отличіе отъ уровня, помѣщаемаго иногда на линейкѣ кипрегеля, называется *исправительнымъ*. Въ окулярномъ колѣнѣ трубы помѣщается дальномѣръ Эртеля; вслѣдствіе чего этотъ кипрегель вмѣстѣ съ рейкою можетъ служить и для опредѣленія разстояній на мѣстности.

Кромѣ тѣхъ условий, которыя требуются отъ кипрегеля простѣйшаго устройства, кипрегель Брейтгаупта долженъ удовлетворять еще двумъ условіямъ, касающимся возможности измѣрять имъ углы наклона; а именно:

1) *оптическая ось должна быть параллельна оси исправительнаго уровня и 2) при совпаденіи нуля верньера съ нулемъ сектора ось исправительнаго уровня должна быть параллельна нижней плоскости линейки.* При невыполненіи перваго изъ этихъ условий въ нѣкоторые изъ отсчетовъ по сектору нужно вводить поправку, которая называется *поправкою уровня*. Опредѣленіе ея или, иначе, повѣрка перваго изъ преды-

душихъ условій совершается такъ: возьмемъ на мѣстности линію  $AB$  (черт. 306) длиною въ 30—40 сажень и поставимъ въ  $A$  мензулу съ кипрегелемъ, а въ  $B$ —вѣху, отъ низа которой до точки  $M$  отложена высота  $AC$  инструмента, т. е. высота горизонтальной оси кипрегеля.

Черт. 306.

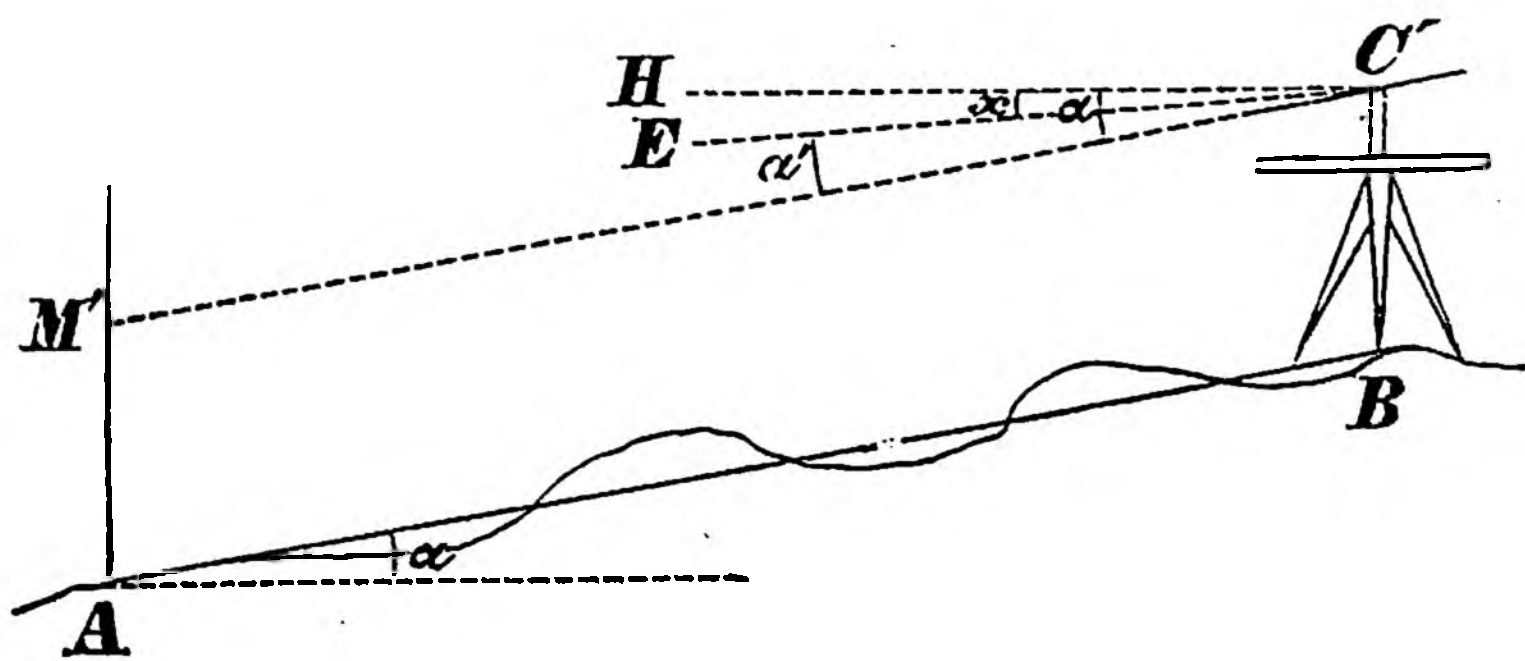


Повернемъ кипрегель на доскѣ такъ, чтобы коллимаціонная плоскость трубы была направлена на вѣху  $B$  и, поставивъ затѣмъ нуль сектора на нуль верньера, приведемъ посредствомъ подъемныхъ винтовъ мензулы пузырекъ исправительнаго уровня на средину. Допустимъ теперь, что оптическая ось трубы не параллельна оси исправительнаго уровня, такъ что когда ось исправительнаго уровня совпадаетъ съ горизонтальною линіею  $CH$ , то оптическая ось занимаетъ положеніе  $CE$ , т. е. уклоняется отъ горизонтальной линіи  $CH$  книзу на уголъ  $x$ . Если наведемъ пересѣченіе нитей на точку  $M$  вѣхи, то отсчетъ  $a$  по сектору не будетъ выражать тогда угла наклоненія  $\alpha$  линіи  $AB$ , а будетъ содержать погрѣшность  $x$ ; при чемъ

$$\alpha = a - x.$$

Перенесемъ теперь мензулу съ кипрегелемъ въ  $B$  (черт. 307), а вѣху—въ  $A$ , и сдѣлаемъ на ней замѣтку  $M'$  такъ, чтобы  $AM'$  равнялась высотѣ  $BC$  инструмента. Тогда приведя, какъ и прежде, пузырекъ исправительнаго уровня на средину и наведя пересѣченіе нитей сѣтки трубы

Черт. 307.



на  $M'$ , отсчетъ  $a'$  по сектору опять не будетъ выражать угла наклоненія  $\alpha$ , а будетъ содержать ту же погрѣшность  $x$ , ибо положеніе оптической оси относительно оси исправительнаго уровня въ короткое время перенесенія кипрегеля изъ  $A$  въ  $B$  не измѣнилось; такъ что тогда

$$\alpha = a' + x.$$

Сравнивая это равенство съ предыдущимъ, имѣемъ

$$a - x = a' + x;$$

откуда

$$x = \frac{1}{2} (a - a'),$$

т. е. ошибка = полуразности отсчетовъ на секторѣ, сдѣланныхъ на обоихъ концахъ линіи *AB*. Уничтожить эту ошибку можно тѣмъ, что вращеніемъ трубы около горизонтальной оси поставить секторъ такъ, чтобы нуль верньера показывалъ величину  $x$  и привести пузырекъ исправительнаго уровня на средину вращеніемъ исправительнаго винта  $y$  (черт. 304), измѣняющаго уголъ между осью уровня и линіею визировація. Не смотря однако на эту повѣрку уровня  $U$ , положеніе его съ теченіемъ времени измѣняется относительно линіи визировація, что вызываетъ надобность въ производствѣ ея ежедневно передъ началомъ работы; при чемъ уже не исправляютъ положеніе уровня винтомъ  $y$ , а записываютъ въ журналъ измѣренія величину угла уклоненія оси уровня отъ параллельности съ линіею визировація, который и есть *поправка уровня*. Если эту поправку обозначимъ чрезъ  $p$ , то она равна  $-x$ , т. е. ошибкѣ  $x$ , взятой съ обратнымъ знакомъ.

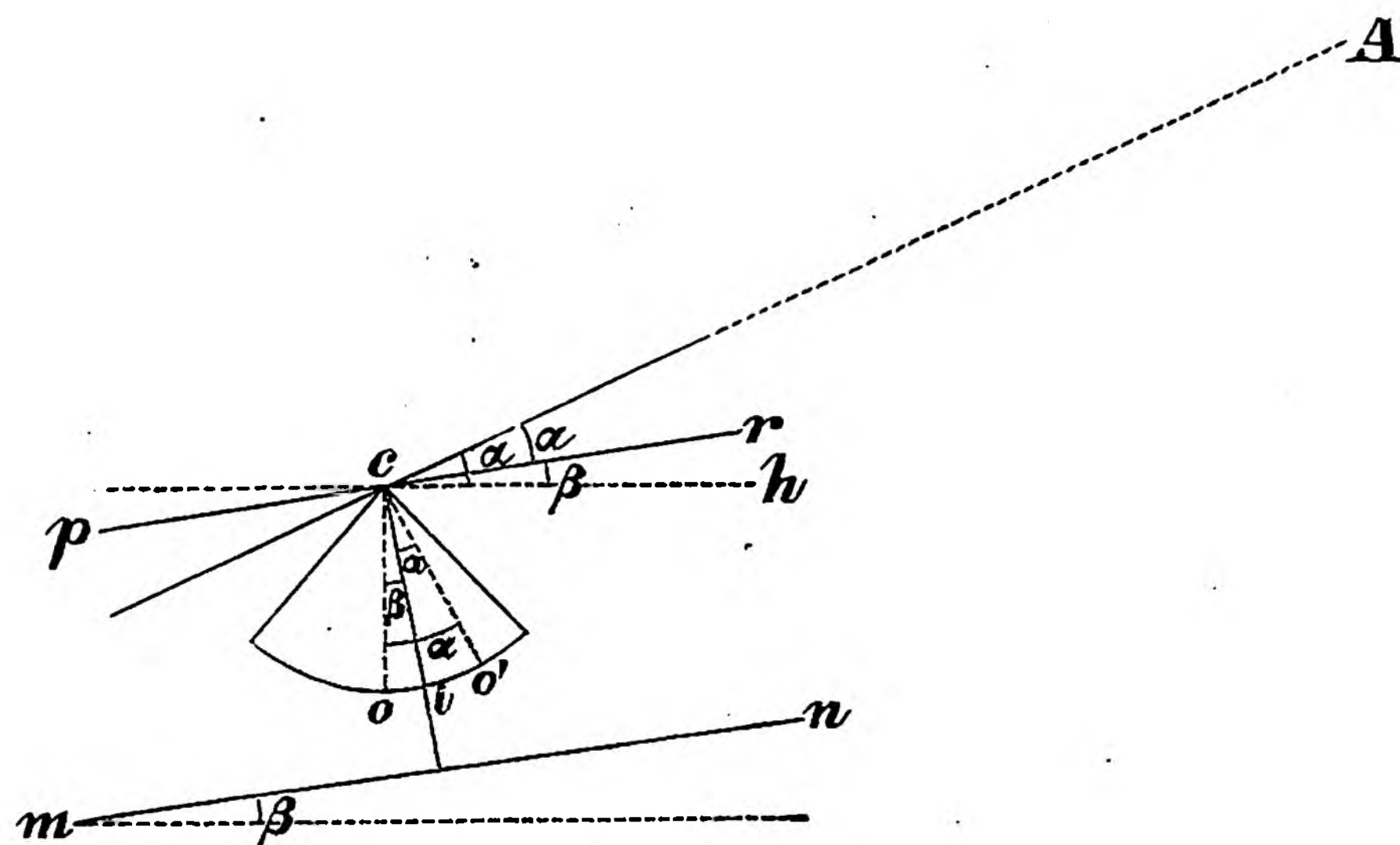
Для повѣрки втораго условія кипрегеля Брейтгаупта—параллельности оси исправительнаго уровня съ нижнею плоскостью линейки при совмѣщеніи нуля верньера съ нулемъ сектора—ставятъ кипрегель на планшетъ, приводятъ нуль верньера въ совпаденіе съ нулемъ сектора и закрѣпивъ нажимательный винтъ  $n$  приводятъ подъемными винтами пузырекъ исправительнаго уровня на средину; затѣмъ прочерчиваютъ по ребру линейки линію и приставляютъ кипрегель къ этой линіи съ другой ея стороны. Если пузырекъ исправительнаго уровня будетъ опять на срединѣ, то условіе выполнено; въ противномъ случаѣ половина отсчета, сдѣланнаго на секторѣ при нахожденіи пузырька уровня на срединѣ, дастъ ту точку сектора, съ которой долженъ совпадать нуль верньера при параллельности оси исправительнаго уровня съ нижнею плоскостью линейки. Эта точка называется *мѣстомъ нуля* сектора. Можно сдѣлать такъ, что это мѣсто нуля будетъ совпадать съ дѣйствительнымъ нулемъ сектора, для чего нужно только, приведя пузырекъ исправительнаго уровня на средину, передвинуть верньеръ, ослабивъ предварительно винты  $z$ , на половину отсчета. Для возможности такого передвиженія верньера подъ шляпками винтовъ  $z$  сдѣланы дугообразные вырѣзы. Если же верньеръ не передвинуть на сколько нужно, то во всѣ отсчеты по сектору надо вводить поправку отъ несоблюденія настоящаго условія.

Кромѣ того отъ кипрегеля съ секторомъ должна требоваться вѣрность дѣленій какъ самаго сектора, такъ и прилегающаго къ нему верньера. Но въ виду того, что дѣленія на кругахъ и ихъ верньерахъ назначаются со временъ *Рейхенбаха* дѣлительною машиною, а не непосредственно рукою, и что вкравшіяся незначительныя неточности дѣленій имѣютъ при употребленіи кипрегеля вліяніе только на результатъ того опредѣленія, въ которое вошла эта невѣрность, а не передаются на послѣдующее, малымъ невѣрностямъ въ дѣленіяхъ кипрегеля не придается особаго значенія. Впрочемъ эта повѣрка, при надобности можетъ быть произведена такъ же, какъ и въ транспортирѣ съ алидадою. (См. § 90, повѣрка 1-я.)

Если кипрегель имѣеть дальномѣрную трубу, то необходимо или опредѣлить ея постоянныя, или сдѣлать надлежащую установку.

Употребленіе кипрегеля Брейтгаупта основано на слѣдующемъ: положимъ, что верхняя плоскость  $mn$  (черт. 308) доски, приведенная въ горизонтальное положеніе только приблизительно, составляетъ съ горизонтомъ уголъ  $\beta$ , а оптическая ось трубы, параллельная съ плоскостью доски при совпаденіи нуля сектора съ нулемъ верньера, есть

Черт. 308.



$pr$ ; тогда при совмѣщеніи оптической оси или, все равно, параллельной съ нею оси уровня съ горизонтальною линіею  $ch$  нуль сектора отойдетъ въ точку  $o$  и составитъ съ  $ci$  уголъ  $\beta$ . Если послѣ этого наведемъ пересѣченіе нитей на точку  $A$  предмета, то нуль сектора передвинется въ  $o'$ , а по верньеру мы отсчитаемъ уголъ  $ico'$ , который обозначимъ чрезъ  $a$ ; слѣд. вѣрный уголъ наклоненія для точки  $A$ , который обозначимъ чрезъ  $\alpha$ , будетъ

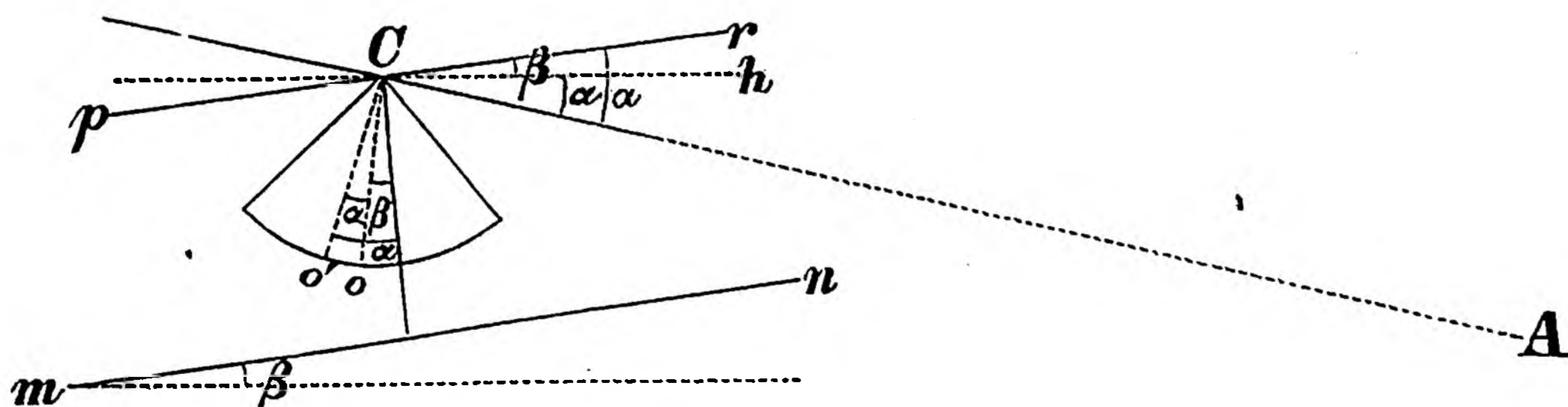
$$\alpha = a + \beta. \quad (1)$$

Изъ чертежа 309 нетрудно видѣть, что при томъ же наклоненіи  $\beta$  мензульной доски  $mn$  и при тѣхъ же обозначеніяхъ, но для угла  $\alpha$  *пониженія*, имѣемъ

$$\alpha = a - \beta. \quad (2)$$

Отсюда видно, что угламъ *повышенія* соотвѣтствуетъ одна формула, а угламъ *пониженія* — другая. Чтобы во всѣхъ случаяхъ, будетъ ли то

Черт. 309.



уголъ *повышенія*, или *пониженія*, употреблять одну общую формулу, вводятъ слѣдующее условіе: *всѣ отсчеты по сектору, дѣлаемые влѣво отъ его нуля, т. е. углы повышенія, сопровождаютъ знакомъ плюсъ, а*

отсчеты вправо отъ нуля сектора, иначе, углы пониженія сопровождаются знакомъ минусъ. Тогда формула

$$\alpha = a - \beta \quad (3)$$

будетъ общою и знакъ второй части ея покажетъ имѣемъ ли мы дѣло съ угломъ повышенія, или угломъ пониженія. Дѣйствительно, при примѣненіи послѣдней формулы къ чертежу 308, такъ какъ въ этомъ случаѣ  $\beta$  по условію нужно взять со знакомъ —, а отсчетъ  $a$  со знакомъ +, вмѣсто формулы (3) будемъ имѣть

$$\alpha = +a - (-\beta) = +(a + \beta),$$

что, согласуясь съ формулою (1), выведенною изъ чертежа, показываетъ, что искомый уголъ есть уголъ повышенія. Если примѣнимъ формулу (3) къ чертежу 309, то вслѣдствіе того, что какъ  $a$  такъ и  $\beta$  должны по условію сопровождаться знакомъ —, имѣемъ

$$\alpha = -a - (-\beta) = -(a - \beta),$$

что, согласуясь съ формулою (2), вмѣстѣ съ тѣмъ показываетъ, что опредѣляемый уголъ наклоненія есть уголъ пониженія.

И такъ формула

$$\alpha = a - \beta$$

есть общая для всѣхъ случаевъ. Изъ примѣненія ея вытекаетъ слѣдующее правило измѣренія угловъ наклоненія линій мѣстности кипрегелемъ Брейтгаупта: *вставъ въ одинъ конецъ данной линіи съ мензулою и кипрегелемъ и поставивъ въ другой конецъ ея вѣху съ замѣткою высоты инструмента, приводятъ мензулу въ горизонтальное положеніе только приблизительно, на-глазъ, направляютъ пересѣченіе нитей трубы на замѣченную на вѣхѣ точку, дѣлаютъ на секторъ отсчетъ ( $a$ ), поворачиваютъ трубу около ея горизонтальной оси настолько, чтобы пузырекъ исправительнаго уровня пришелъ на средину и дѣлаютъ другой отсчетъ ( $\beta$ ). Тогда, если оба отсчета будутъ сопровождены надлежащими знаками, то уголъ наклоненія линіи мѣстности получится по формулѣ*

$$\alpha = a - \beta;$$

при чемъ если въ результатѣ получится знакъ +, то измѣренный уголъ наклоненія есть уголъ повышенія; знакъ же минусъ покажетъ, что имѣемъ дѣло съ угломъ пониженія.

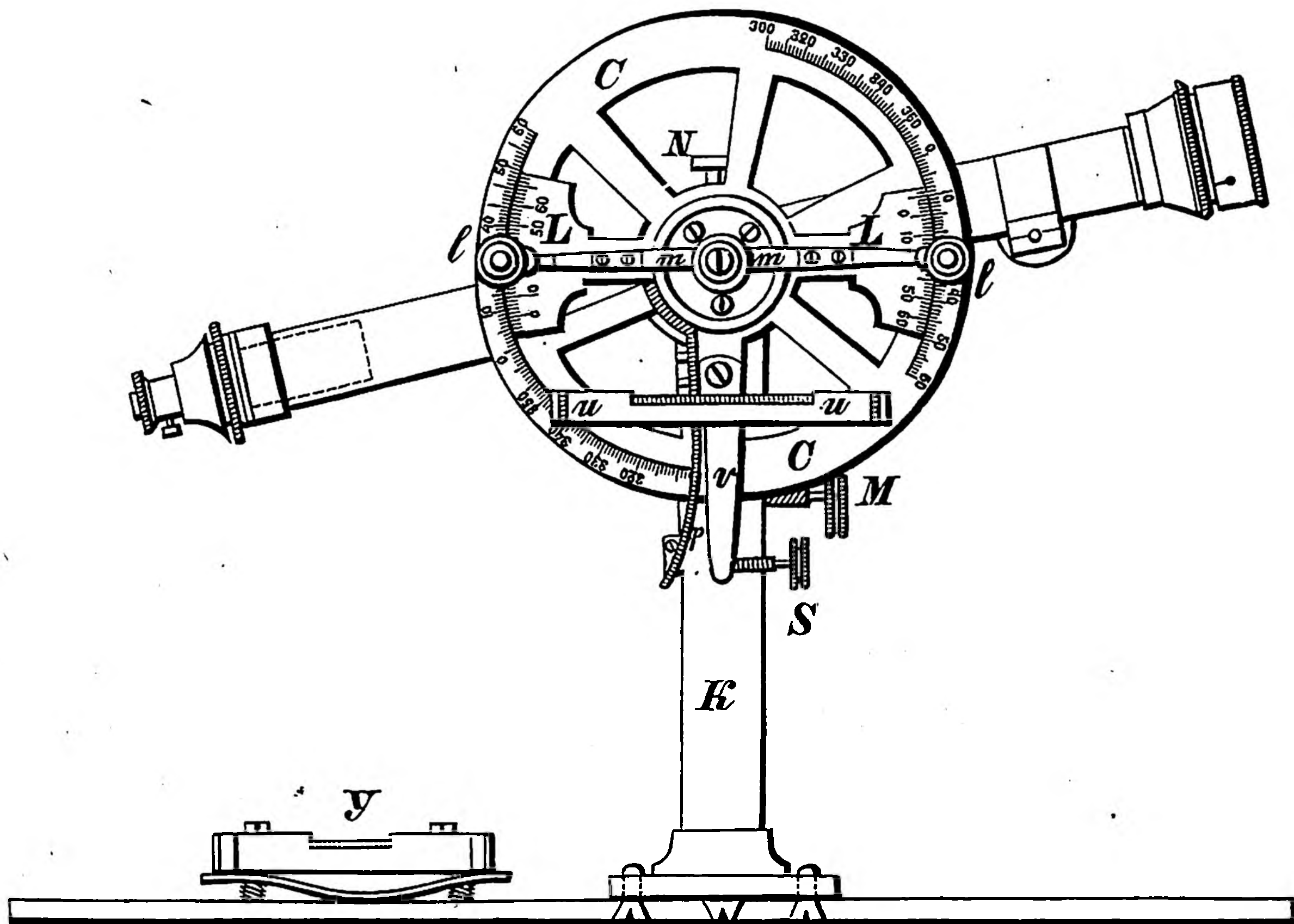
Если отсчетъ  $\beta$ , вслѣдствіе неточной параллельности оси исправительнаго уровня съ оптической осью трубы ошибоченъ, то ко второй части надо придать съ соотвѣтственнымъ знакомъ поправку  $p$ ; такъ что окончательная въ этомъ случаѣ формула будетъ

$$\alpha = a - \beta + p.$$

с) *Кипрегель Главнаго Штаба.* Къ горизонтальной оси вращенія его трубы, переводящейся чрезъ зенитъ, прикрѣпленъ полный кругъ  $C$

(черт. 310), вращающийся вмѣстѣ съ трубою. Грубое движеніе трубы и круга прекращается нажимательнымъ винтомъ *N*, а микрометрическое движеніе сообщается винтомъ *M*. На выступающій конецъ горизонтальной оси надѣта линейка *LL*, представляющая алидаду съ двумя верньерами на концахъ; при чемъ отсчетами по двумъ верньерамъ уничтожается, какъ извѣстно, вліяніе эксцентрицитета алидады. Кольцо, которымъ алидада *LL* надѣта на ось, имѣетъ внизу рычагъ *r* съ пружиною *p*, проходящими между двумя выступами колонны *K*. Черезъ одинъ изъ этихъ выступовъ проходитъ винтъ *s*, а въ другой выступъ

Черт. 310.



упирается пружина *p*. Дѣйствіемъ винта *s* можно поворачивать въ ту или другую сторону алидаду *LL*, а съ нею вмѣстѣ и прикрѣпленный къ ея рычагу *r* уровень *и*, чѣмъ и приводитъ пузырекъ этого послѣдняго на средину. Кругъ *C* раздѣленъ, начиная отъ двухъ діаметрально-противоположныхъ точекъ, слѣва на право на градусы; и притомъ не по всему протяженію окружности, а только на 60 градусовъ въ обѣ стороны отъ нулей. Верньеры на концахъ линейки *LL* назначены такъ, чтобы при параллельности оптической оси трубы съ осью уровня *и* нули ихъ совмѣщались съ нулями круга *C*. Когда кругъ *C* для наблюдателя, стоящаго при окулярѣ, находится вправо отъ трубы, какъ на чертежѣ, то такое положеніе его называется *кругомъ право* и для краткости обозначается чрезъ *К.П.*; въ этомъ случаѣ отсчеты по верньеру, находящемуся ближе къ окуляру, будутъ для угловъ повышенія заключаться между  $0^{\circ}$  и  $60^{\circ}$ , а для угловъ пониженія между  $300^{\circ}$  и  $360^{\circ}$ . Если же кругъ помѣщается влѣво отъ трубы, что называется *кругомъ лѣво* и обозначается чрезъ *К.Л.*, то для угловъ повышенія отсчеты будутъ заключаться между  $300^{\circ}$  и  $360^{\circ}$ , а для угловъ пониженія между  $0^{\circ}$  и  $60^{\circ}$ . Въ срединѣ алидады на той же горизонтальной оси трубы



вращается рычажекъ  $mm$ , на концахъ котораго помѣщены лупы  $ll$ . Въ окулярномъ колѣнѣ помѣщается обыкновенно дальномѣръ Эртеля, и тогда при кипрегелѣ должна быть рейка. Наконецъ, надо еще прибавить, что на линейкѣ кипрегеля прикрѣпляется иногда другой менѣ чувствительный уровень  $У$ , служащій для приведенія планшета въ горизонтальное положеніе. На той же линейкѣ гравировается масштабъ.

Кипрегель Главнаго Штаба долженъ удовлетворять тѣмъ же тремъ условіямъ, что и простѣйшій, но кромѣ того при совмѣщеніи нулей круга съ нулями верньеровъ въ немъ должна быть выполнена и параллельность оптической оси трубы съ осью уровня, прикрѣпленнаго къ алидадѣ вертикальнаго круга; такъ что всѣ требуемыя отъ кипрегеля условія суть:

1) нижняя поверхность линейки должна быть плоскостью, а скошенное ребро ея — прямою линіею;

2) коллимаціонная плоскость трубы должна быть перпендикулярна къ нижней плоскости линейки;

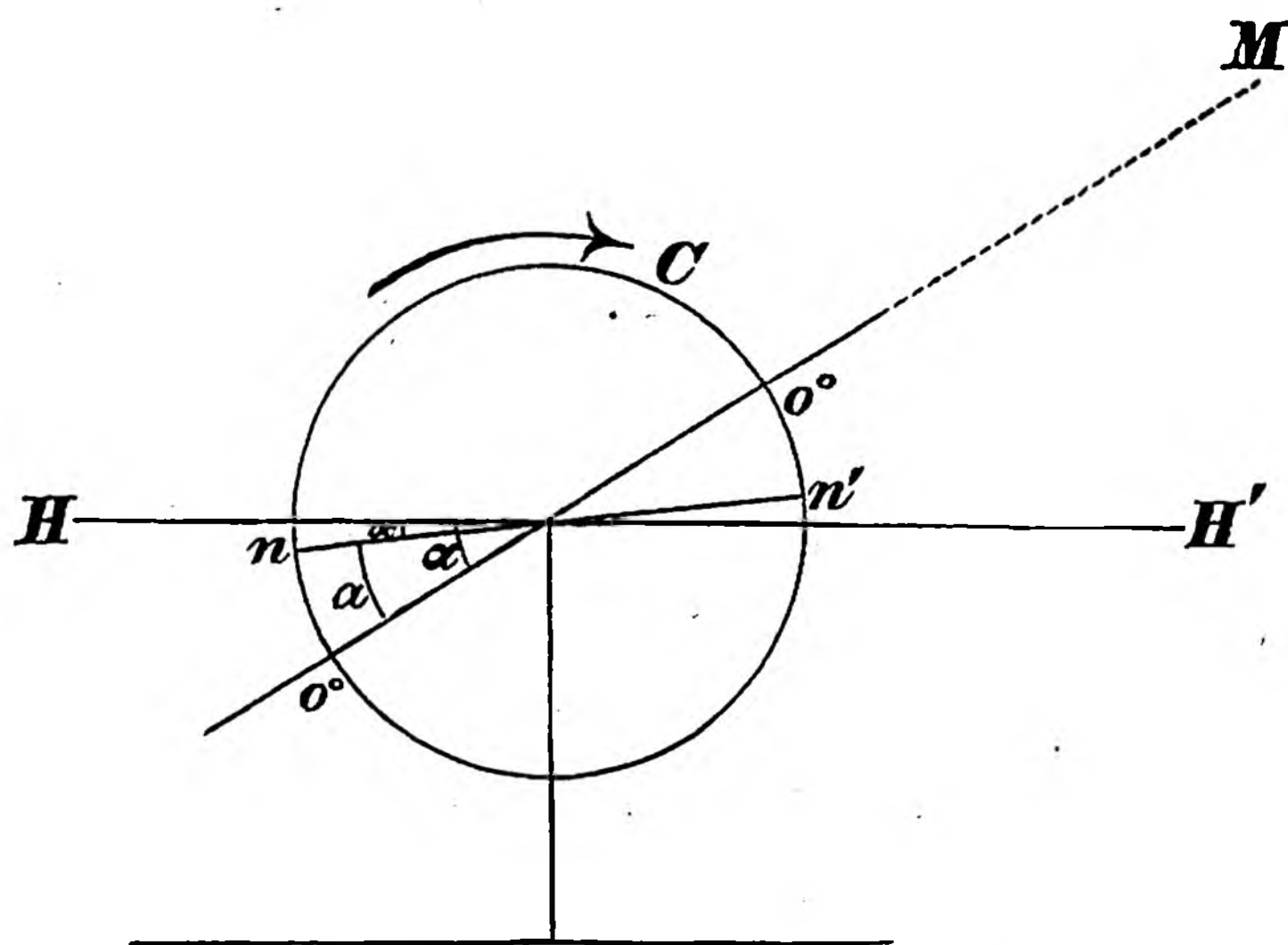
3) коллимаціонная плоскость должна или совпадать со скошеннымъ ребромъ линейки, или быть ему параллельна;

4) при совмѣщеніи нулей вертикальнаго круга съ нулями верньеровъ, оптическая ось трубы должна быть параллельна оси уровня алидады вертикальнаго круга.

Если на линейкѣ кипрегеля имѣется уровень, то послѣ производства повѣрки перваго изъ предыдущихъ условій надо убѣдиться въ томъ, что ось этого уровня параллельна нижней плоскости линейки. Повѣрка эта производится перестановкою кипрегеля на доскѣ ровно на  $180^\circ$ , т. е. по указанному въ § 65, пунктъ а).

Повѣрка первыхъ трехъ предыдущихъ условій производится такъ же, какъ въ простѣйшемъ кипрегелѣ или алидадѣ; повѣрка же четвертаго

Черт. 311.



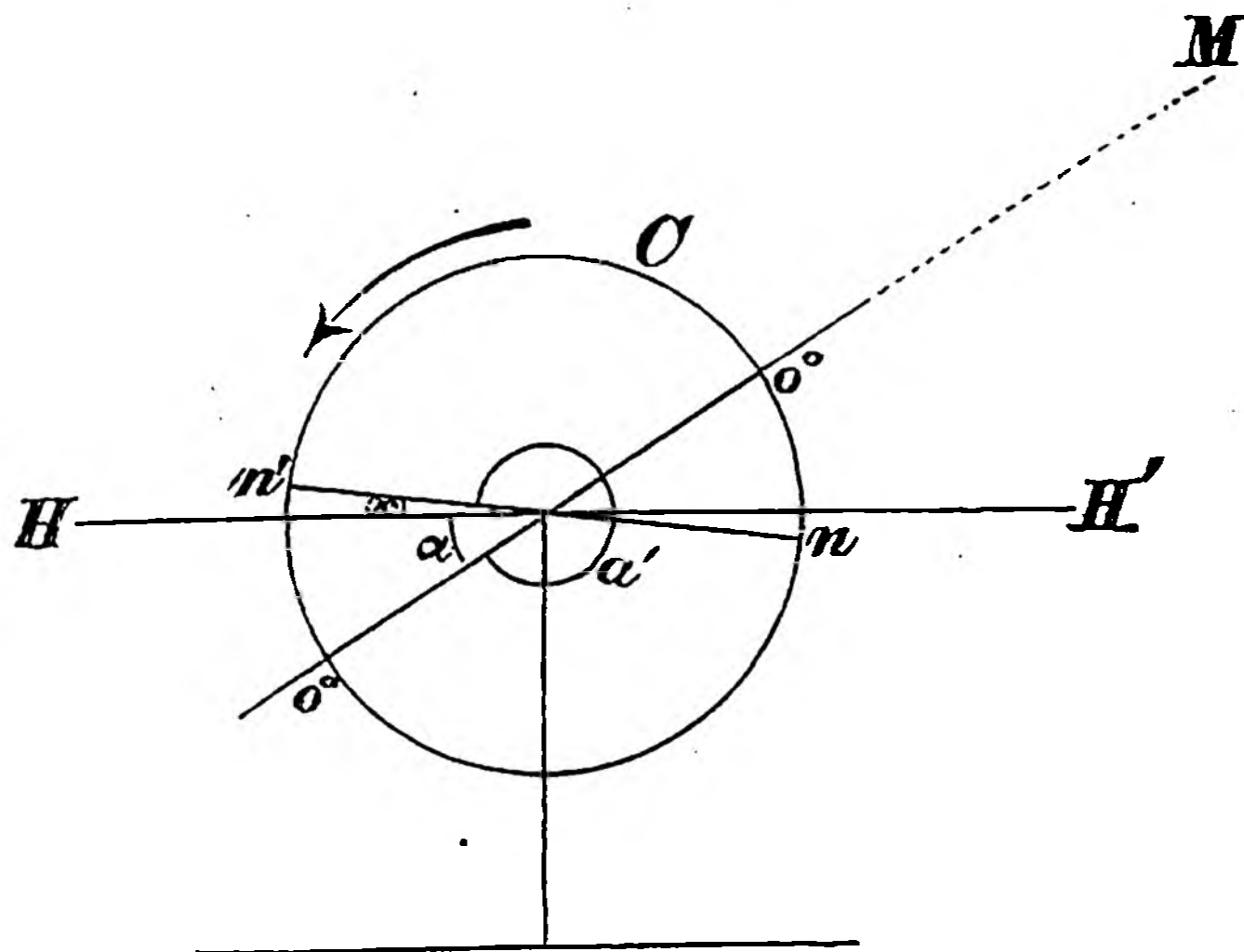
условія производится на основаніи слѣдующей теоріи, которая вмѣстѣ съ тѣмъ показываетъ — какъ измѣрять уголъ наклоненія кипрегелемъ Главнаго Штаба. Пусть  $С$  (черт. 311) есть вертикальный кругъ съ дѣленіями, расположенными слѣва на право и находящійся вправо отъ

трубы, т. е. *К.П.*; положимъ затѣмъ, что *НН'* есть горизонтальная линия, проходящая чрезъ центръ вертикальнаго круга; наконецъ положимъ для простоты, что діаметръ нулевыхъ градусовъ вертикальнаго круга находится въ плоскости къ нему перпендикулярной и проходящей чрезъ оптическую ось трубы. Если пузырекъ уровня алидады вертикальнаго круга приведемъ на средину, т. е. ось этого уровня приведемъ въ положеніе параллельное съ горизонтальною линіею *НН'*, и если совмѣстимъ съ этою линіею оптическую ось трубы, то при выполненіи четвертаго условія линия нулей верньеровъ также должна совмѣщаться съ *НН'*. Допустимъ, что требуемое условіе не выполнено или, иначе, что линия *nn'* нулей верньеровъ составляетъ съ *НН'* уголъ  $x$ . Опредѣлимъ величину этой погрѣшности или, все равно, опредѣлимъ на вертикальномъ кругѣ ту точку *n*, съ которою надо совмѣщать нуль верньера, чтобы ось уровня алидады вертикальнаго круга была горизонтальна. Эта точка вертикальнаго круга называется *мѣстомъ нуля* и обозначается для краткости чрезъ *М.О.* Если оптическая ось направлена на точку *М* предмета, то отсчетъ на кругѣ при углѣ повышения и при *К.П.* будетъ, какъ мы видѣли, заключаться между  $0^\circ$  и  $60^\circ$ ; обозначивъ его чрезъ  $a$ , уголъ наклоненія будетъ:

$$\alpha = a + x. \quad (1)$$

Переложимъ кипрегель на доскѣ, переведемъ трубу чрезъ зенитъ и направимъ пересѣченіе нитей на ту же точку *М*; тогда имѣя въ виду, что кругъ будетъ обращенъ къ зрителю уже не лицевою стороною, а

Черт. 312.



обратною и что линия *nn'* займетъ положеніе, указанное на черт. 312, отсчетъ на кругѣ будетъ соответствовать углу  $a'$ , а уголъ наклоненія

$$\alpha = 360^\circ - a' - x. \quad (2)$$

Изъ равенствъ (1) и (2) имѣемъ

$$a + x = 360^\circ - a' - x;$$

откуда

$$x = \frac{360^\circ - a - a'}{2}. \quad (3)$$

Если же опять возвратимся къ чертежу 311 и приведемъ діаметръ нулевыхъ градусовъ въ совпаденіе съ линіею  $HN'$ , то

$$M. O. = 360^\circ - x = 360^\circ - \frac{360^\circ - a - a'}{2} = \frac{360^\circ + a + a'}{2};$$

или, обозначивъ  $360^\circ +$  отсчетъ, меньшій  $60^\circ$  и сдѣланный при кругѣ вправо, чрезъ  $K. П.$ , а  $a'$  — чрезъ  $K. Л.$ , будемъ имѣть болѣе простую формулу

$$M. O. = \frac{K. П. + K. Л.}{2},$$

т. е. отсчетъ, соотвѣтствующій на вертикальномъ кругѣ мѣсту нуля = полусуммѣ отсчетовъ при кругѣ вправо и кругѣ влѣво, предполагая при этомъ, что отсчетъ при кругѣ вправо увеличенъ на  $360^\circ$ . Изъ отдѣльныхъ чертежей можно убѣдиться, что та же формула для  $M. O.$  справедлива и при углѣ пониженія, но только въ этомъ случаѣ  $K. П. = a$ , а  $K. Л. = 360^\circ + a'$ , т. е.  $360^\circ$  придается опять къ отсчету меньшему  $60^\circ$ . Слѣдов. дѣлая общее заключеніе надо сказать, что всегда *мѣсто нуля должно опредѣляться по формулѣ*

$$M. O. = \frac{K. П. + K. Л.}{2},$$

въ которой къ отсчету меньшему  $60^\circ$  надо придать  $360^\circ$ ; при этомъ число минутъ въ  $K. П.$  и  $K. Л.$  суть среднія ариѣметическія изъ отсчетовъ минутъ по обоимъ верньерамъ.

Изъ равенствъ (1) и (2) можно получить величину угла наклоненія линіи даже и при невыполненіи въ кипрегелѣ условія параллельности оптической оси съ осью уровня во время совмѣщенія нулей верньеровъ съ нулями круга. Въ самомъ дѣлѣ, складывая эти равенства, имѣемъ

$$a = \frac{360^\circ + a - a'}{2}; \quad (4)$$

или, опять обозначая  $360^\circ + a$  чрезъ  $K. П.$ , а  $a'$  — чрезъ  $K. Л.$ , имѣемъ

$$a = \frac{K. П. - K. Л.}{2}.$$

Для угла пониженія получимъ

$$a = \frac{K. Л. - K. П.}{2}.$$

Вслѣдствіе чего если при измѣреніи угловъ наклоненія будемъ употреблять всегда одну только формулу

$$a = \frac{K. П. - K. Л.}{2},$$

то знакъ  $+$  второй части покажетъ, что опредѣляемый уголъ наклоненія есть уголъ повышенія, а знакъ  $-$  покажетъ, что имѣемъ дѣло

съ угломъ пониженія. Изъ этого слѣдуетъ, что всегда *уголъ наклоненія линіи мѣстности = полуразности отсчетовъ при К.П. и К.Л.*; при чемъ не надо забывать придавать  $360^\circ$  къ отсчету меньшему  $60^\circ$ .

Если извѣстно *М.О.* на вертикальномъ кругѣ, то уголъ наклоненія можетъ быть полученъ при одномъ положеніи вертикальнаго круга (вправо или влѣво), ибо

$$\alpha = \frac{К.П. - К.Л.}{2} = К.П. - \frac{К.П. + К.Л.}{2} \\ = К.П. - М.О.$$

и

$$\alpha = \frac{К.П. - К.Л.}{2} = \frac{К.П. + К.Л.}{2} - К.Л. \\ = М.О. - К.Л.,$$

т. е. *уголъ наклоненія = или К.П. безъ мѣста нуля, или мѣсту нуля безъ К.Л.*

Изъ этой теоріи слѣдуетъ, что для повѣрки параллельности оптической оси трубы съ осью уровня алидады вертикальнаго круга при совмѣщеніи нулей верньеровъ съ нулями его или, все равно, для опредѣленія на вертикальномъ кругѣ мѣста нуля надо направить трубу кипрегеля на какую нибудь точку предмета, привести пузырекъ уровня алидады вертикальнаго круга винтомъ *S* (черт. 310) на средину, сдѣлать отсчетъ, переложить кипрегель около той же точки на  $180^\circ$ , перевести трубу чрезъ зенитъ, направить ее на ту же точку предмета, вновь привести на средину пузырекъ уровня вертикальнаго круга и сдѣлать на кругѣ отсчетъ. Тогда придавъ къ меньшему отсчету  $360^\circ$ , мѣсто нуля опредѣлится по формулѣ

$$М.О. = \frac{К.П. + К.Л.}{2}.$$

Для опредѣленія же угла наклоненія линіи мѣстности становятся съ мензулою и кипрегелемъ на одинъ конецъ этой линіи, а на другой конецъ ставятъ вѣху, на которой отложена высота инструмента, направляютъ пересѣченіе нитей на эту замѣтку на вѣхѣ, приводятъ пузырекъ уровня вертикальнаго круга на средину и дѣлаютъ отсчетъ; затѣмъ переключаютъ кипрегель на доскѣ, переводятъ трубу чрезъ зенитъ, наводятъ пересѣченіе нитей на ту же точку вѣхи, приводятъ пузырекъ того же уровня на средину и вновь дѣлаютъ на кругѣ отсчетъ. Послѣ этого уголъ наклоненія  $\alpha$  опредѣлится по формулѣ

$$\alpha = \frac{К.П. - К.Л.}{2}.$$

Если же извѣстно мѣсто нуля на вертикальномъ кругѣ, то уголъ наклоненія опредѣлится при одномъ положеніи вертикальнаго круга; а именно

$$\alpha = К.П. - М.О. \text{ или } = М.О. - К.Л.$$

*Примѣръ.* При первомъ положеніи вертикальнаго круга вправо имѣли среднее ариѣметическое изъ отсчетовъ по обѣимъ верньерамъ  $2^{\circ}4'$ , а при второмъ положеніи вертикальнаго круга влѣво имѣли  $358^{\circ}52'$ . Тогда

$$M. O. = \frac{362^{\circ}4' + 358^{\circ}52'}{2} = 0^{\circ}28',$$

а

$$\alpha = \frac{362^{\circ}4' - 358^{\circ}52'}{2} = +1^{\circ}36'.$$

Если бы имѣли только среднее изъ отсчетовъ при кругѣ вправо, т. е.  $2^{\circ}4'$  и мѣсто нуля  $= 0^{\circ}28'$ , то

$$\alpha = 2^{\circ}4' - 0^{\circ}28' = +1^{\circ}36'.$$

*Примѣчанія:* 1) Чтобы убѣдиться въ неподвижности вертикальнаго круга относительно трубы и въ неподвижности уровня относительно верньеровъ, нужно повторять опредѣленіе мѣста нуля при различныхъ наклоненіяхъ оптической оси къ горизонту. Если при этихъ опредѣленіяхъ мѣсто нуля будетъ различно, то указанные части кипрегеля измѣняютъ свое относительное положеніе и съ такимъ недостаткомъ кипрегель негоденъ къ употребленію.

2) Иногда дѣленія на вертикальномъ кругѣ подписаны иначе, а именно — въ обѣ стороны отъ каждаго изъ нулей, стоящихъ на двухъ диаметрально противоположныхъ точкахъ круга. Въ этомъ случаѣ вмѣсто отсчета  $a'$  (черт. 312) на вертикальномъ кругѣ будемъ имѣть  $360 - a' = a_1$ ; вслѣдствіе чего по формулѣ (3)  $M. O.$  или, все равно, ошибка  $x$  будетъ

$$M. O. = \frac{a_1 - a}{2},$$

а уголъ наклоненія  $\alpha$  по формулѣ (4) будетъ

$$\alpha = \frac{a_1 + a}{2},$$

а по чертежамъ 311 и 312

$$\alpha = a + M. O. = a_1 - M. O.,$$

т. е. къ отсчету при кругѣ право нужно придать мѣсто нуля, а изъ отсчета при кругѣ лѣво — вычесть мѣсто нуля. Выведенныя теперь формулы, соотвѣтствующія одному частному случаю, будутъ справедливы для всѣхъ угловъ наклоненія и для всѣхъ случаевъ положенія линіи нулей верньеровъ алидады вертикальнаго круга, если принять условіе, аналогичное съ условіемъ для отсчетовъ на секторѣ кипрегеля Брейтгаупта; а именно: *отсчеты на ближайшей къ окуляру части круга, сдѣланные вверхъ отъ его нуля, сопровождаютъ знакомъ плюсъ, а такіе же отсчеты внизъ отъ того же нуля сопровождаютъ знакомъ минусъ.*

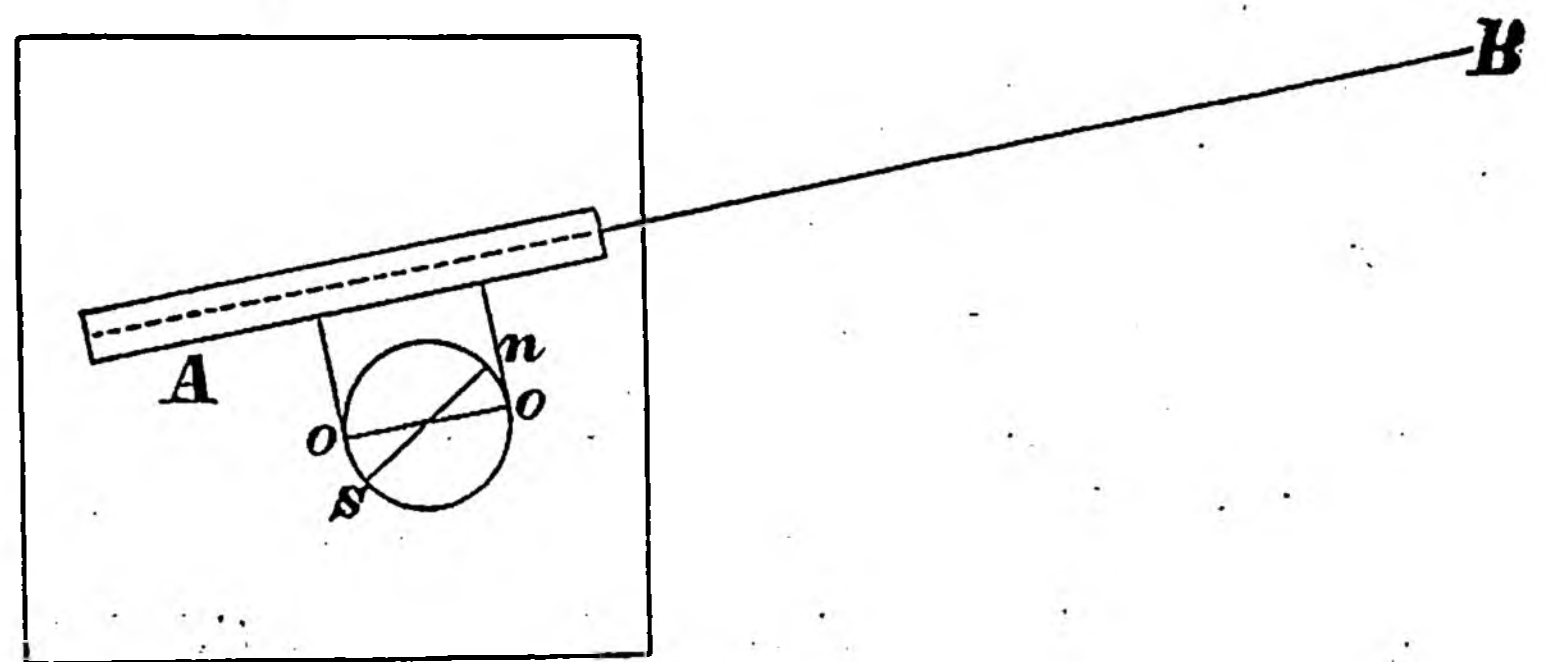
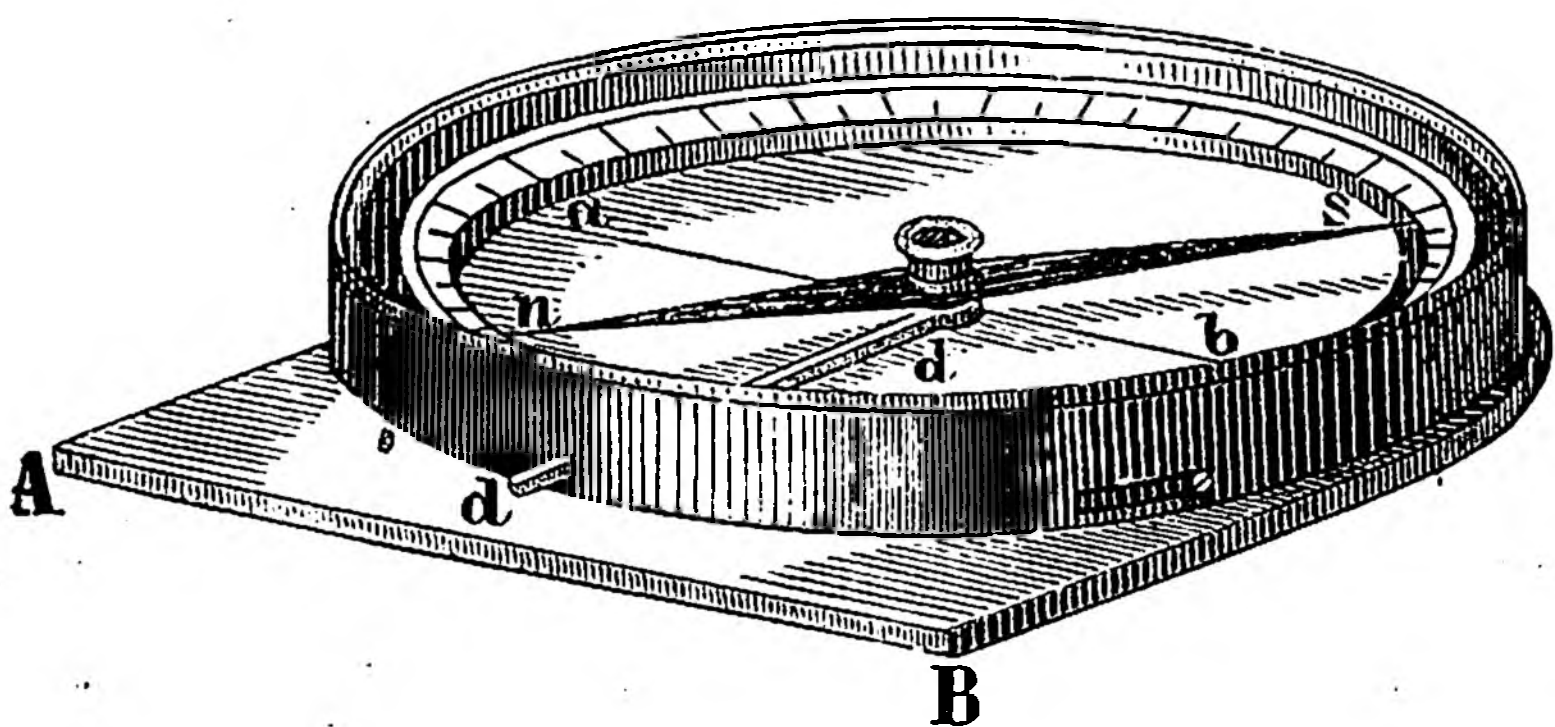
§ 147. *Буссоль\**). Она состоитъ изъ круглой коробки (черт. 313) діаметромъ около 5 дюймовъ, внутри которой имѣется высеребренное кольцо

\*) Итальянское слово *bussola* означаетъ коробка.

съ градуснымъ дѣленіемъ; на концахъ одного изъ діаметровъ  $ab$  кольца подписаны или нули, или нуль и  $180^\circ$ . Въ первомъ случаѣ градусная подпись идетъ въ обѣ стороны отъ нулей до  $90^\circ$ , а во второмъ — справа на лѣво отъ  $0^\circ$  до  $360^\circ$ ; иначе, въ первомъ случаѣ имѣемъ румбическое кольцо, а во второмъ — азимутальное. Въ центрѣ кольца, на днѣ коробки утверждается острый шпиль, на который вѣшается магнитная стрѣлка  $ns$ . Коробка закрывается крышкой со стекломъ, къ которому можетъ быть прижата магнитная стрѣлка своею шляпкою во время перенесенія буссоли съ мѣста на мѣсто. Это прижиманіе дѣлается такъ: одинъ конецъ рычага  $dd$  надѣтъ на шпиль подъ стрѣлкою, а другой нѣсколько согнутый конецъ проходитъ чрезъ боковое треугольное отверстіе кольца и выступаетъ снизу крышки наружу; это отверстіе сбоку крышки таково, что если повернуть ее около центра кольца, то крышка придавитъ согнутый конецъ рычага, вслѣдствіе чего конецъ его, обхватывающій шпиль, поднимется и прижметъ шляпку стрѣлки къ стеклу.

Черт. 313.

Черт. 314.



Дно коробки продолжено въ одну сторону и ограничивается прямымъ краемъ  $AB$ , который долженъ быть параллеленъ діаметру  $ab$  кольца.

Мензуральная буссоль служитъ: а) для опредѣленія румба или азимута линіи мѣстности, б) для назначенія на мѣстности линіи подъ даннымъ румбомъ или азимутомъ и с) для приведенія линіи, начерченной на планшетѣ, въ отвѣсную плоскость съ магнитнымъ или географическимъ меридіаномъ.

Для опредѣленія румба или азимута линіи  $AB$  (черт. 314) мѣстности ставятъ мензулу надъ одной изъ конечныхъ точекъ линіи, напр.  $A$ , центрируютъ ее, приводятъ доску въ горизонтальное положеніе и визируютъ по данной линіи; затѣмъ приложивъ осторожно къ ребру линейки визирнаго снаряда (алидады или кипрегеля) буссоль, отсчетъ по кольцу ея выразитъ искомый румбъ или азимуть. Послѣ приложенія буссоли, необходимо убѣдиться въ томъ, что линейка не сдвинулась съ мѣста, для чего достаточно повѣрить визированіе.

Чтобы при данной точкѣ  $A$  на мѣстности назначить линію съ известнымъ румбомъ или азимутомъ, центрируютъ мензулу надъ этою точкою, приводятъ доску въ горизонтальное положеніе, кладутъ на нее кипрегель или алидаду и къ ребру линейки прикладываютъ буссоль, которую поворачиваютъ на доскѣ вмѣстѣ съ визирнымъ снарядомъ до тѣхъ поръ, пока конецъ стрѣлки будетъ показывать данный румбъ или ази-

мутъ и наконецъ выставляютъ на мѣстности вѣху *B* по направленію линіи визированія.

Приведеніе линіи планшета въ отвѣсную плоскость съ магнитнымъ или географическимъ меридіаномъ, называемое *ориентированіемъ мензулы по меридіану*, будетъ изложено въ слѣдующемъ за симъ параграфѣ, въ задачѣ объ ориентированіи мензулы вообще.

Предыдущія троякаго рода задачи мензульной буссоли требуютъ, чтобы кромѣ параллельности діаметра буссоли, проходящаго чрезъ нуль, съ прямымъ ея краемъ, коллимаціонная плоскость визирнаго снаряда была параллельна съ ребромъ линейки. А такъ какъ точность употребленія буссоли, вслѣдствіе суточного измѣненія склоненія стрѣлки, есть  $\frac{1}{4}$  градуса, то достаточно если каждое изъ этихъ условій — параллельность діаметра буссоли съ ея прямымъ краемъ и параллельность коллимаціонной плоскости визирнаго снаряда съ ребромъ его линейки — будетъ выполнено съ точностью до  $\frac{1}{8}$  градуса.

Отъ мензульной буссоли требуется выполненіе слѣдующихъ условій:

1) *Дѣленія кольца буссоли должны быть равны между собою.* Такъ какъ отсчеты по кольцу буссоли дѣлаются съ точностью до  $\frac{1}{4}$  градуса, то вѣрность дѣленій достаточно повѣрить простымъ циркулемъ; что и производится такъ же, какъ въ простомъ транспортирѣ. (См. § 88, повѣрка 1-я). Въ случаѣ оказавшихся невѣрностей, онѣ вводятся въ отсчеты по стрѣлкѣ.

2) *Шпиль долженъ быть достаточно остръ, агатъ — хорошо шлифованъ и стрѣлка хорошо намагничена.* Эти три условія повѣряются заразъ такъ: дѣлаютъ отсчетъ по одному изъ концовъ стрѣлки, затѣмъ приближаютъ къ ней какую нибудь желѣзную или стальную вещь; при этомъ стрѣлка уклонится по направленію къ вещи и послѣ удаленія этой послѣдней она должна занять первоначальное положеніе, т. е. дать тотъ же отсчетъ. Если же полученъ другой отсчетъ, то стрѣлка снимается со шпиля, агатовая шляпка прочищается кисточкою, шпиль вывертывается и оттачивается. Доброкачество шлифовки агата узнается при разсматриваніи его на свѣтъ или, еще лучше, въ лупу. Если стрѣлка по удаленіи стальной вещи приходитъ въ равновѣсіе *быстро*, то она хорошо намагничена.

3) *Буссоль, сама мензула и остальные ея принадлежности не должны содержать въ себѣ желѣза или, вообще, металла, вліяющаго на положеніе стрѣлки.* Хотя при устройствѣ мензулы и ея принадлежностей весьма трудно обойтись совершенно безъ желѣза, тѣмъ не менѣе количество его въ этихъ инструментахъ должно быть таково, чтобы оно не имѣло замѣтнаго вліянія на положеніе стрѣлки; вслѣдствіе чего повѣрка этого условія производится такъ: вынувъ стрѣлку изъ коробки буссоли, вѣшаютъ ее на отдѣльный шпиль, затѣмъ даютъ ей успокоиться и подносятъ къ ней съ разныхъ сторонъ мензулу, коробку буссоли [(изъ которой вывернуть шпиль) и другія принадлежности. При этомъ нужно подносить на такое разстояніе, на которомъ эти предметы находятся отъ буссоли при ея употребленіи. Если стрѣлка не будетъ при этомъ

отклоняться отъ своего направленія, то условіе выполнено; въ противномъ случаѣ часть, содержащая въ себѣ вредный металлъ, не должна быть употребляема при мензулѣ одновременно съ употребленіемъ буссоли.

4) *Стрѣлка должна быть уравновѣшена.* Стрѣлка называется *уравновѣщенной* тогда, когда будучи повѣшена на острие послѣ намагниченія, она горизонтальна. Въ § 68 мы видѣли, что негоризонтальность стрѣлки, послѣ ея намагниченія, происходитъ вслѣдствіе бѣльшей близости къ мѣсту стоянія инструмента одного изъ магнитныхъ земныхъ полюсовъ. Настоящее условіе повѣряется постановкою буссоли на планшетъ, приведенный въ горизонтальное положеніе: если верхняя плоскость стрѣлки совпадаетъ съ плоскостью кольца, то оно выполнено; при невыполненіи же условія, налѣпляють на поднятый конецъ стрѣлки кусочекъ воска или сургуча.

5) *Стрѣлка не должна имѣть эксцентриситета.* Поставя буссоль на горизонтальный планшетъ, записываютъ показанія обоихъ концовъ стрѣлки; затѣмъ измѣнивъ положеніе буссоли, опять отсчитываютъ по концамъ стрѣлки; и такъ дѣлають раза 4—5 на различныхъ мѣстахъ кольца. Если разность каждой пары отсчетовъ равна  $180^\circ$ , то стрѣлка эксцентриситета не имѣетъ; въ противномъ случаѣ, нужно всегда брать полусумму отсчетовъ по обоимъ концамъ стрѣлки.

Дѣйствительно, если  $ns$  (черт. 315) есть внѣцентричное положеніе стрѣлки, а  $n's'$  — параллельная ей линія, проходящая чрезъ центр  $c$  кольца, то отсчеты, сдѣланные по концамъ  $n$  и  $s$ , послѣ направленія коллимационной плоскости  $ab$  на точку  $A$  предмета, выразятъ градусныя величины дугъ  $nb$  и  $as$ . Понятно, что полусумма тѣхъ же отсчетовъ дастъ уголъ  $n'cb$ , градусная величина котораго выражаетъ число градусовъ румба линіи  $CA$  мѣстности.

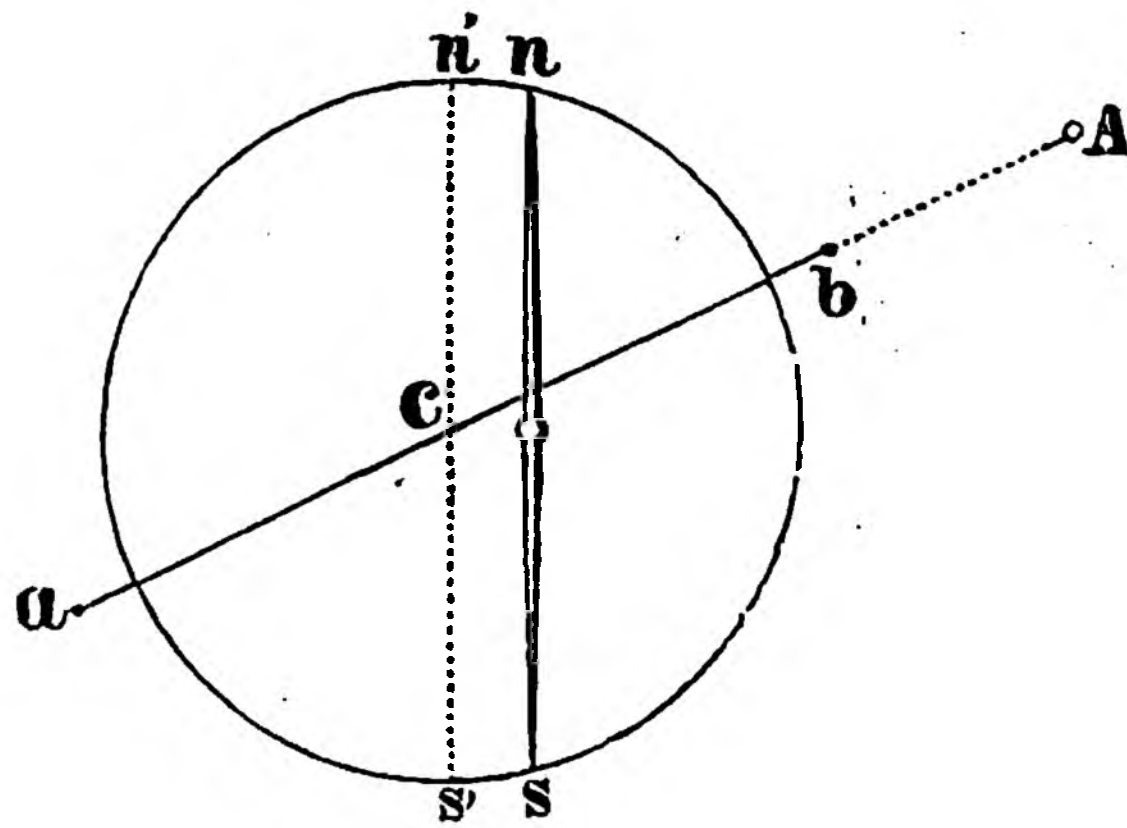
Если буссоль имѣетъ азимутальное градусное кольцо, дѣленія котораго идутъ справа налѣво и нуль помѣщенъ при предметномъ діоптрѣ, то отсчеты по концамъ  $n$  и  $s$  выразятъ соотвѣтственно градусныя величины дугъ  $bn$  и  $bnas$ . Обозначивъ ихъ чрезъ  $\alpha$  и  $\alpha'$ , а ошибки въ отсчетахъ, т. е. градусныя величины дугъ  $nn'$  и  $ss'$ , чрезъ  $\delta$ , имѣемъ

$$\begin{aligned} n'b &= \alpha + \delta \\ n'b &= \alpha' - \delta - 180^\circ. \end{aligned}$$

Сложивъ эти равенства и раздѣливъ сумму на 2, получимъ

$$n'b = \frac{\alpha + \alpha' - 180^\circ}{2}.$$

Черт. 315.





Если отсчетъ по сѣверному концу стрѣлки будетъ болѣе  $180^\circ$ , то подобнымъ же образомъ получимъ

$$n' b = \frac{\alpha + \alpha' + 180^\circ}{2}.$$

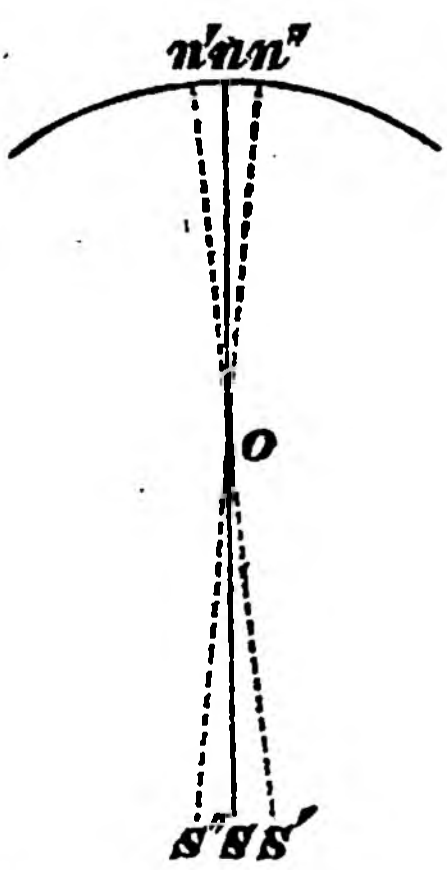
Такъ что вообще

$$n' b = \frac{\alpha + \alpha' \mp 180^\circ}{2},$$

т. е. градусная величина вѣрнаго азимута направленія  $CA$  при вѣнцентренномъ положеніи стрѣлки равна полусуммѣ показаній ея сѣвернаго конца и южнаго, увеличеннаго или уменьшеннаго на  $180^\circ$ , смотря по тому болѣе или менѣе это показаніе показанія сѣвернаго конца.

6) *Магнитная ось стрѣлки должна совпадать съ ея геометрическою осью.* Для повѣрки ставятъ буссоль на горизонтальный планшетъ и давъ стрѣлкѣ успокоиться записываютъ показаніе одного изъ ея концовъ; затѣмъ, не сдвигая съ мѣста буссоли, вынимаютъ изъ нея стрѣлку, перевинчиваютъ шляпку на другую сторону, вѣшаютъ стрѣлку опять на острие и вновь отсчитываютъ по тому же концу. Если оба эти отсчета совершенно одинаковы, то магнитная ось совпадаетъ съ геометрическою; въ противномъ случаѣ уголъ между этими осями измѣряется полуразностью отсчетовъ. Дѣйствительно если  $ns$  (черт. 316) есть магнитная ось, имѣющая одно и то же направленіе при обоихъ отсчетахъ, а  $n' s'$  и  $n'' s''$  суть геометрическія оси стрѣлки при этихъ отсчетахъ, то

Черт. 316.



понятно, что уголъ  $n o n'$  между магнитною и геометрическою осями равенъ половинѣ угла  $n' o n''$  или, все равно, полуразности отсчетовъ по концамъ  $n'$  и  $n''$ .

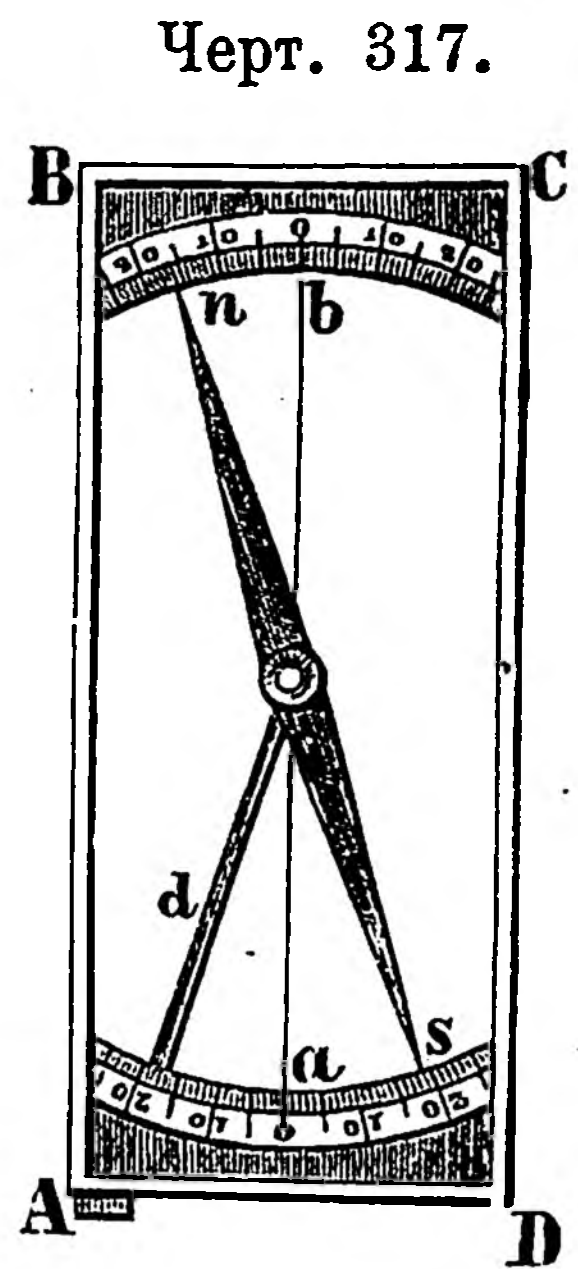
При повѣркѣ требуется, какъ мы видѣли, не сдвигать буссоль съ мѣста между первымъ и вторымъ отсчетами. Это достигается тѣмъ, что буссоль прикладываютъ къ ребру линейки визирнаго снаряда, наводятъ линію визирования на какую нибудь точку предмета и повѣряютъ это наведеніе передъ вторымъ отсчетомъ.

*Примѣчаніе.* Для тѣхъ магнитныхъ стрѣлокъ, шляпки которыхъ не вывертываются, а придѣланы къ нимъ наглухо, совпаденіе осей возможно изслѣдовать только сравненіемъ показаній ихъ съ показаніемъ стрѣлки съ перевертывающеюся шляпкою.

7) *Діаметръ градуснаго кольца, проходящій чрезъ нуль, долженъ быть параллеленъ прямому краю буссоли.* Поставя алидаду на горизонтальный планшетъ, направляютъ коллимаціонную плоскость на точку мѣстности; затѣмъ, приложивъ буссоль прямымъ краемъ къ ребру линейки, протягиваютъ волосъ по направленію нулеваго діаметра градуснаго кольца и смотрятъ — проходитъ ли волосъ чрезъ ту же точку мѣстности. Если нѣтъ, то вращеніемъ около центра кольца волосъ направляютъ на точку и дѣлаютъ на кольцѣ отсчетъ, который выразитъ величину

погрѣшности и который нужно принимать во вниманіе при каждомъ употребленіи буссоли.

Если буссоль при мензулѣ нужна единственно только для ориентированія планшета по магнитному или истинному меридіану, то для этой цѣли достаточна такъ называемая *ориентиръ-буссоль*, изображенная на черт. 317. Она состоитъ изъ прямоугольнаго ящика  $ABCD$ , закрываемаго стеклянною крышкою, при короткихъ сторонахъ котораго прикрѣплены двѣ дуги съ градуснымъ дѣленіемъ съ центромъ, совпадающимъ съ мѣстомъ помѣщенія шпилья. Край  $AB$  буссоли долженъ быть параллеленъ діаметру  $ab$ , проходящему чрезъ нуль.



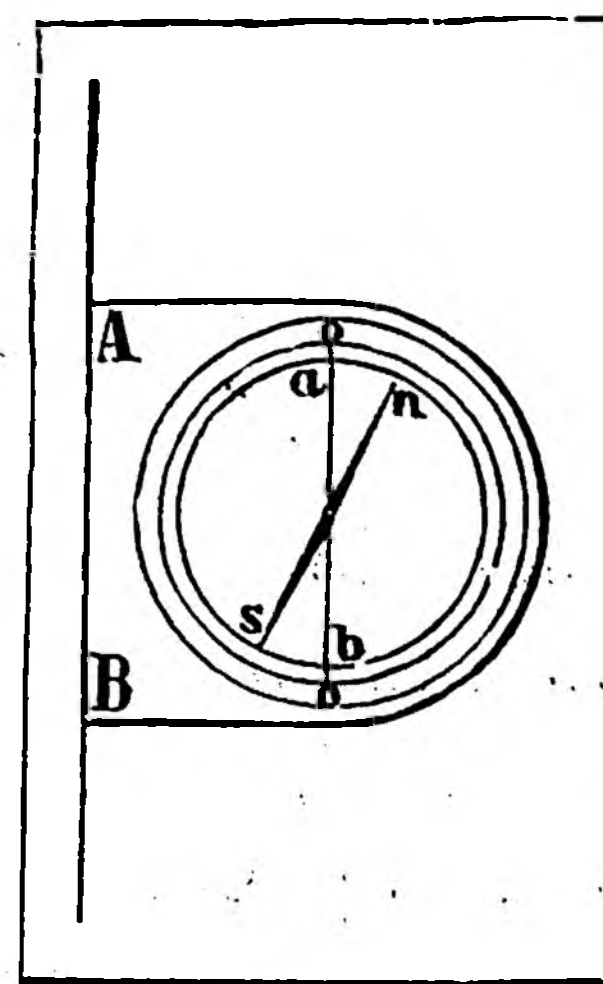
### Задачи, рѣшаемыя мензулою на мѣстности.

§ 148. Прежде изложенія задачъ рѣшаемыхъ мензулою, условимся обозначать соотвѣтственныя точки планшета и мѣстности одинаковыми буквами, первыя малыми, а вторыя большими; такъ, чрезъ  $a, b, c...$  на планшетѣ будемъ обозначать точки  $A, B, C,...$  мѣстности имъ соотвѣтствующія. Этому будемъ придерживаться не только здѣсь, но и вообще при описаніи съемокъ.

*Ориентированіе мензулы.* Во время производства съемки мензулу приходится устанавливать на различныхъ точкахъ мѣстности. При каждой такой установкѣ необходимо, чтобы линіи, начерченныя на планшетѣ, были параллельны соотвѣтственнымъ линіямъ на мѣстности. Приведеніе планшета въ такое положеніе, чтобы всѣ начерченныя на немъ линіи были параллельны соотвѣтственнымъ линіямъ мѣстности, называется *ориентированіемъ*\*) планшета. Планшетъ можно ориентировать или по меридіану (посредствомъ буссоли), или по данной на планшетѣ линіи.

Чтобы ориентировать планшетъ по магнитному меридіану  $NS$  (черт. 318), начерченному на планшетѣ, приставляютъ къ этой линіи край  $AB$  буссоли и ослабивъ становой винтъ мензулы поворачиваютъ доску до тѣхъ поръ, пока ось стрѣлки приметъ направленіе діаметра  $ab$ , проходящаго чрезъ нуль кольца; при этомъ поворачиваютъ доску сначала грубымъ движеніемъ, а потомъ закрѣпивъ становой винтъ дѣйствуютъ микрометреннымъ винтомъ. Если для мѣста съемки извѣстно склоненіе магнитной стрѣлки, то планшетъ можно ориентировать по географическому меридіану; такъ напр. если извѣстно, что склоненіе въ данномъ мѣстѣ восточное  $2^\circ 8'$ , то приложивъ буссоль къ линіи  $NS$  поворачиваютъ доску на столько, чтобы сѣверный конецъ стрѣлки отошелъ

Черт. 318.

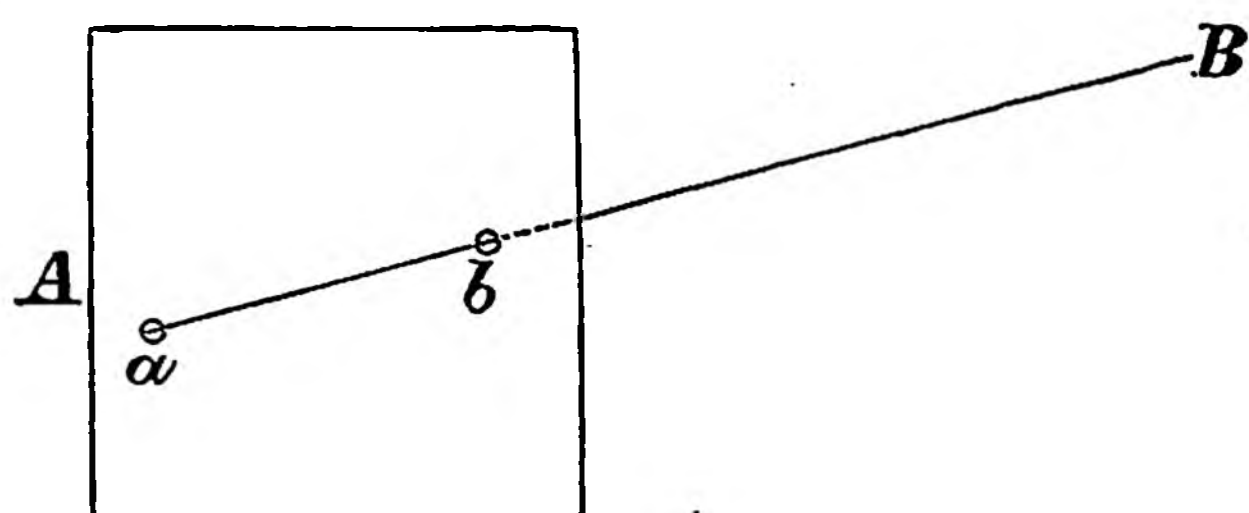


\*) Отъ лат. слова *oriens* — востокъ.

отъ нуля кольца вправо на  $2\frac{1}{8}^{\circ}$ , принимая 8 минутъ за  $\frac{1}{8}$  градуса. Эта ориентировка по магнитному или географическому меридіану не можетъ имѣть большой точности, потому что суточное измѣненіе склоненія стрѣлки есть 15 и болѣе минутъ.

Второй болѣе точный способъ ориентированія планшета по данной линіи имѣетъ два случая: 1) когда мензула поставлена на одномъ изъ концовъ данной на мѣстности и на планшетѣ линіи и 2) когда мензула поставлена между конечными точками ориентировочной линіи. Въ первомъ случаѣ, если  $AB$  (черт. 319) есть данная на мѣстности линія, а  $ab$  — линія ей соотвѣтствующая на планшетѣ, то поставивъ мензулу

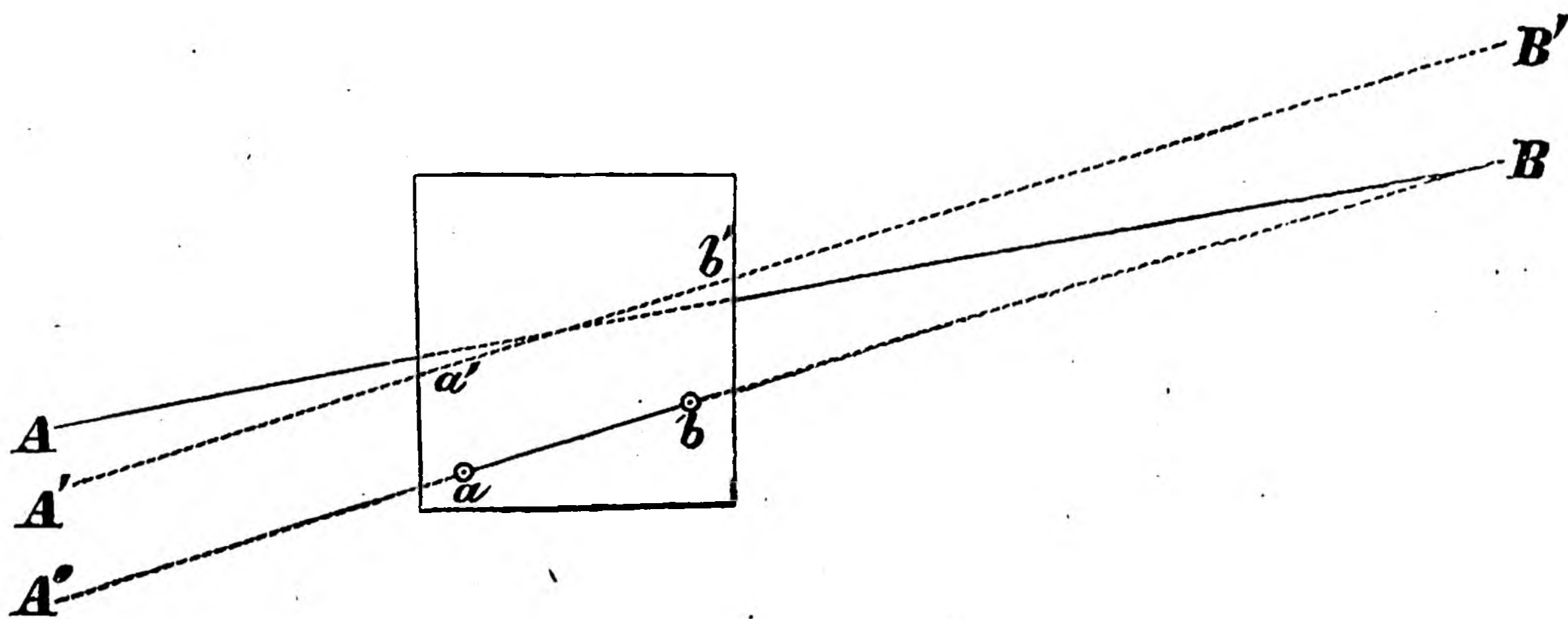
Черт. 319.



надъ точкою  $A$  мѣстности ослабляютъ становой винтъ и поворачиваютъ доску на столько, чтобы направленіе линіи  $ab$  совпадало приблизительно (на - глазъ) съ направленіемъ  $AB$ . Затѣмъ центрируютъ планшетъ по возможности точно, приводятъ его въ горизонтальное положеніе, прикладываютъ ребро линейки визирнаго снаряда къ  $ab$  и поворачиваютъ доску сначала грубымъ движеніемъ, а потомъ микрометреннымъ на столько, чтобы линія визировація проходила чрезъ  $B$ . По совершеніи этого доска ориентирована.

Въ томъ случаѣ, когда планшетъ надо ориентировать по линіи  $AB$  (черт. 320), вставъ на ней гдѣ нибудь между ея конечными точками,

Черт. 320.

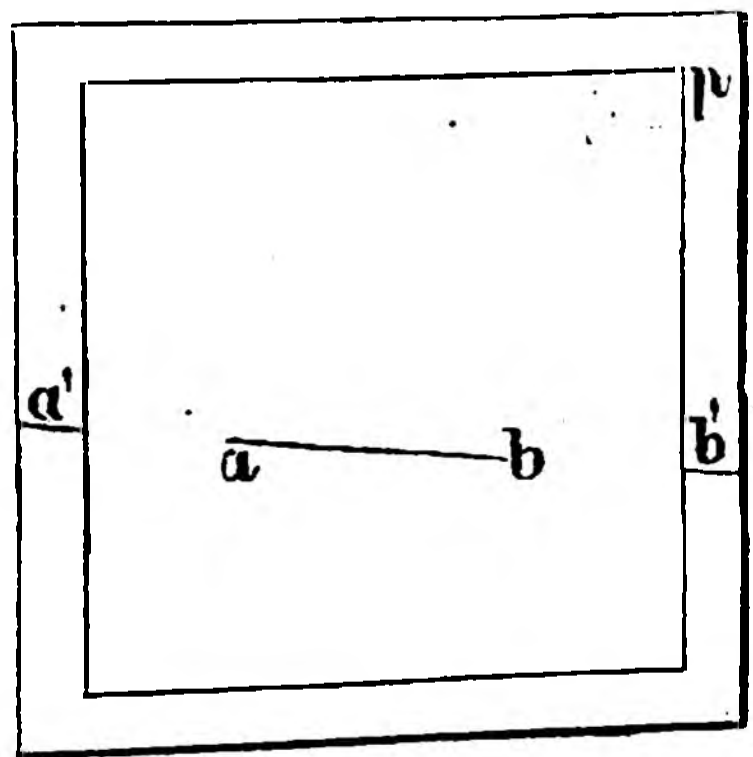


рѣшеніе вопроса нѣсколько усложняется. А именно, поставивъ мензулу въ такую точку на мѣстности, которая лежитъ приблизительно на линіи  $AB$ , прикладываютъ алидаду или кипрегель къ  $ab$  на планшетѣ и поворачиваютъ планшетъ до прохожденія линіи визировація чрезъ  $B$ . Затѣмъ визирный снарядъ прикладываютъ съ другой стороны линіи  $ab$  и смотрятъ — проходитъ ли линія визировація также и чрезъ  $A$ . Положимъ, что она проходитъ не чрезъ  $A$ , а чрезъ другую точку  $A''$ , тогда

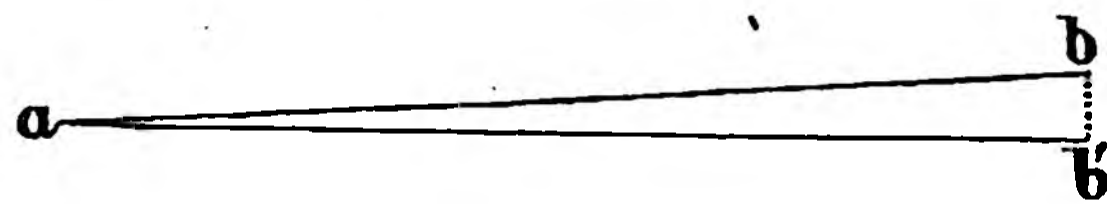
передвигаютъ или всю мензулу вмѣстѣ со штативомъ, или одинъ планшетъ на подставкѣ такъ, чтобы линія  $ab$  осталась приблизительно параллельною прежнему своему положенію и заняла такое положеніе  $a'b'$ , при которомъ линія визировація покрываетъ точку  $A'$ , лежащую между  $A$  и  $A''$ . Наконецъ микрометрическимъ винтомъ поворачиваютъ планшетъ настолько, чтобы  $a'b'$  совпала съ  $AB$ . Затѣмъ снова повторяютъ всѣ предыдущія дѣйствія до тѣхъ поръ, пока коллимаціонная плоскость будетъ проходить и чрезъ  $B$ , и чрезъ  $A$ . Нужно обратить еще вниманіе на то, что для быстроты рѣшенія задачи въ началѣ лучше направлять на ту изъ точекъ  $A$  или  $B$ , которая наиболѣе удалена отъ мѣста стоянія мензулы; какъ, напр. на чертежѣ точка  $B$ .

Ориентированіе мензулы по данной на ея планшетѣ линіи производится тѣмъ съ большею точностью, чѣмъ длиннѣе на планшетѣ линія ориентированія, потому что тѣмъ точнѣе можно приложить къ ней ребро линейки визирнаго снаряда. Вслѣдствіе этого линіи, которыя понадобятся для ориентированія при съемкѣ, прочерчиваются на планшетѣ не только въ томъ мѣстѣ его, гдѣ того требуетъ изображеніе контура, но и на краяхъ планшета. Такъ если имѣется въ виду ориентировать впоследствии мензулу по линіи  $ab$  (черт. 321), то на краяхъ планшета должны быть прочерчены линіи  $a'$  и  $b'$ , служащія продолженіемъ  $ab$ , къ которымъ собственно и прикладывается ребро линейки визирнаго снаряда при ориентированіи.

Черт. 321.



Черт. 322.



Чтобы судить о томъ насколько выигрывается точность при ориентированіи планшета по длинной линіи вообразимъ, что  $ab'$  (черт. 322) есть линія прочерченная на планшетѣ и что линейка, приложенная точно къ  $a$ , уклоняется отъ  $b'$  на  $bb'$ , которая перпендикулярна къ  $ab'$ ; тогда изъ чертежа имѣемъ

$$\operatorname{tg} \angle bab' = \frac{bb'}{ab};$$

или, по малости угла,

$$\angle bab' = \frac{bb'}{ab \cdot \sin 1''}.$$

Принимая теперь  $bb'$  равною  $\frac{1}{200}$  доли дюйма и имѣя въ виду, что длина  $ab'$  ориентировочной линіи не превышаетъ по большей части 15 дюймовъ, получимъ

$$\angle bab' = 1',15;$$

при  $ab = 2$  дюймамъ

$$\angle bab' = 8',6.$$

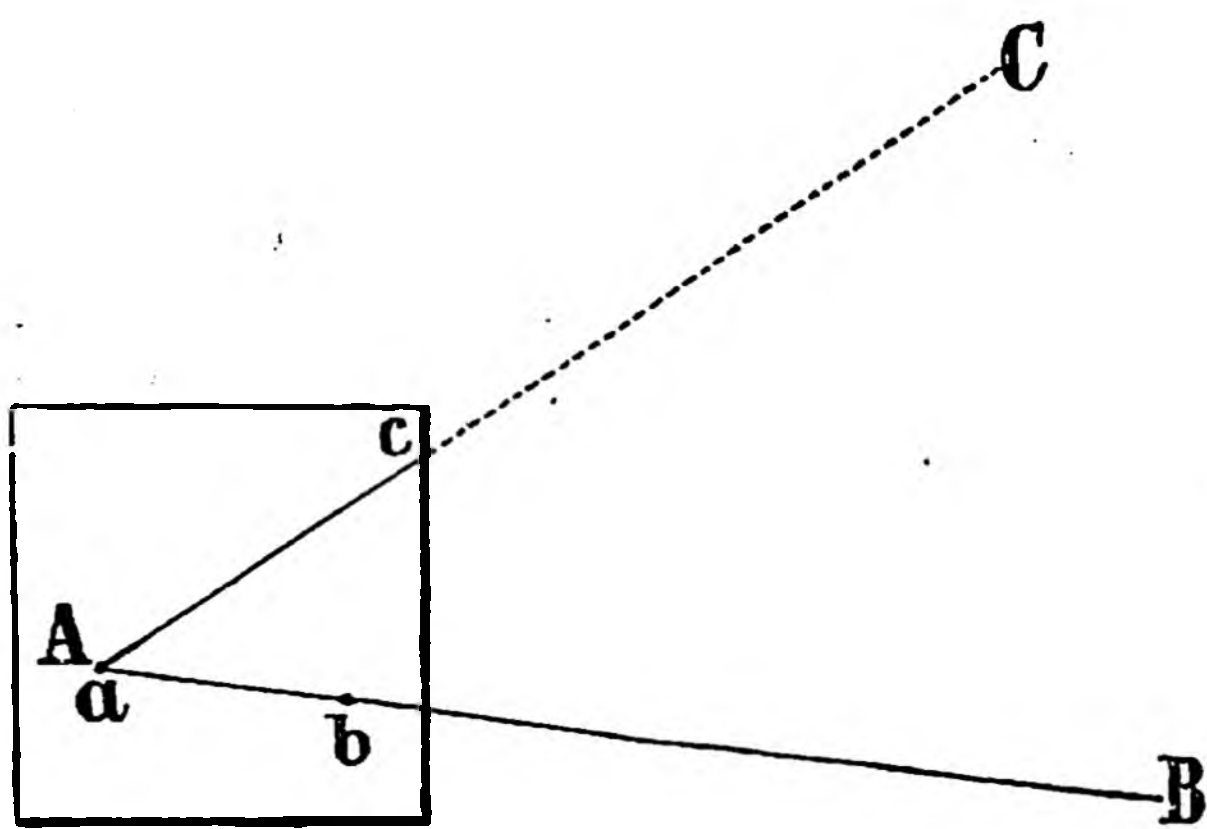
И такъ въ первомъ случаѣ ошибка въ ориентированіи можетъ быть  $1',2$ , тогда какъ во второмъ она составляетъ  $8',6$ .

Отсюда видна необходимость прочерчиванія линій по краямъ планшета для ориентированія.

Величину  $1',2$  выведенную въ предыдущемъ считаютъ за среднюю ошибку ориентированія мензулы по данной на ея планшетѣ линіи, потому что длина этой линіи бываетъ менѣе 15 дюймовъ и сама ошибка можетъ быть какъ со знакомъ плюсь, такъ и минусъ.

§ 149. *Построеніе на планшетѣ горизонтальнаго проложенія угла даннаго на мѣстности.* Становятъ мензулу въ вершинѣ  $A$  (черт. 323) даннаго угла  $CAB$  и посредствомъ вилки проектируютъ эту вершину на планшетъ, приведенный въ горизонтальное положеніе. Пусть эта проекція на планшетѣ будетъ  $a$ . Послѣ этого ставятъ визирный снарядъ такъ, чтобы ребро линейки его проходило чрезъ  $a$ , а коллимаціонная плоскость — чрезъ  $B$ ; линія  $ab$ , проведенная при этомъ карандашемъ по ребру, выразитъ пересѣченіе вертикальной плоскости точекъ

Черт. 323.



$A$  и  $B$  мѣстности съ плоскостью планшета. Указанное здѣсь прикладываніе ребра линейки къ  $a$  и вращеніе ея около  $a$  до тѣхъ поръ, пока коллимаціонная плоскость будетъ проходить чрезъ  $B$ , будемъ въ послѣдующемъ называть *визированіемъ чрезъ  $a$  на  $B$* . Подобнымъ же образомъ визируютъ чрезъ  $a$  на  $C$  и прочерчиваютъ линію  $ac$ . Уголъ  $cab$ , полученный на планшетѣ, только тогда выразитъ горизонтальное проложеніе угла  $CAB$  мѣстности, если во время полученія его планшетъ не измѣнилъ своего положенія какъ въ горизонтальной, такъ и въ вертикальной плоскости; а потому передвиженіе визирнаго снаряда по планшету должно производиться возможно осторожно. При вращеніи визирнаго снаряда около точки должно одну руку держать у линейки вблизи точки, а другою вытянутою (но не прикасающеюся къ планшету) рукою поворачивать отдаленный конецъ линейки, наблюдая при этомъ, чтобы ребро ея проходило чрезъ точку  $a$ .

Иногда точка  $a$ , представляющая вершину того угла, который требуется изобразить на планшетѣ, уже дана. Въ этомъ случаѣ построеніе отличается отъ предыдущаго только тѣмъ, что прежде всего нужно мензулу въ точкѣ  $A$  центрировать, а это достигается, какъ извѣстно, или передвиженіемъ всей мензулы, или передвиженіемъ на подставкѣ одной только доски. Затѣмъ производится по предыдущему самое построеніе угла на планшетѣ.

Въ большинствѣ случаевъ на планшетѣ дана не только вершина  $a$  угла, но и одна изъ его сторонъ, напр.  $ab$ . Тогда нужно сначала центрировать доску по  $a$ , привести въ горизонтальное положеніе, ориентировать ее по  $ab$  и наконецъ уже визировать чрезъ  $a$  на  $C$  и прочертить по ребру линію  $ac$ .

Къ построению угла на планшетѣ надо еще добавить: *a)* чтобы во время поворачиванія визирнаго снаряда на планшетѣ не слѣдить за прохожденіемъ ребра линейки чрезъ данную на планшетѣ точку, при линейкѣ его устраивается иногда еще вспомогательная линеечка, соединенная съ главною шарнирами и могущая передвигаться параллельно самой себѣ. Тогда если при визированіи не наблюдалось, чтобы ребро вспомогательной линеечки проходило чрезъ данную точку, то послѣ окончанія визированія придвигаютъ эту линеечку къ точкѣ параллельнымъ передвиженіемъ. *b)* Иногда если чрезъ данную на планшетѣ точку предстоитъ провести нѣсколько линій и если при визирномъ снарядѣ не имѣется вспомогательной линеечки, то для ускоренія работы втыкаютъ въ данную точку тонкую швейную иглу съ деревянною или сургучною головкою и поворачиваютъ около нея линейку визирнаго снаряда осторожно, чтобы не сломать иглу. *c)* Для болѣе удобнаго прочерчиванія линій, проходящихъ на планшетѣ чрезъ данную точку, карандашъ чинится въ видѣ лопатки, одна изъ плоскихъ сторонъ которой свободно проводится по ребру линейки.

При рѣшеніи обратнаго вопроса, т. е. при построеніи въ данной точкѣ  $A$  на мѣстности угла  $CAB$ , равнаго данному  $cab$  на планшетѣ, становятся мензулу въ  $A$ , центрируютъ ее, приводятъ въ горизонтальное положеніе, прикладываютъ послѣдовательно ребро линейки визирнаго снаряда къ  $ab$  и  $ac$  и выставляютъ на мѣстности вѣхи  $B$  и  $C$ .

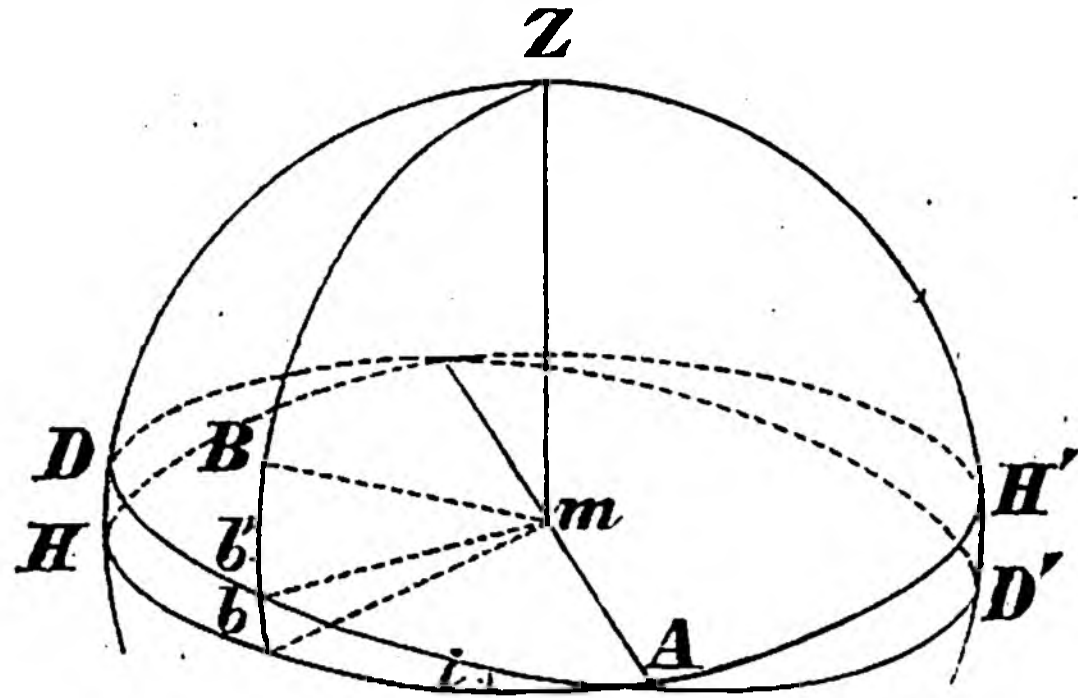
Точность построения угла на мензулѣ видна изъ того, что предѣльная ошибка этого построения равна 7 минутамъ, а предѣльная ошибка опредѣленія градусной величины построеннаго такимъ образомъ угла равна 8,5 минутамъ.

Въ самомъ дѣлѣ въ концѣ предыдущаго параграфа мы видѣли, что средняя ошибка ориентированія мензулы по данной на ея планшетѣ линіи длиною 15 дюймовъ есть 1,2 минуты; вслѣдствіе чего средняя ошибка построения угла на мензулѣ  $= 1,2\sqrt{2} = 1',7$ , а предѣльная ошибка угла  $= 1',7 \times 3 = 5,1$  минуты. Въ дѣйствительности же вслѣдствіе невозможности держать карандашъ при прочерчиваніи имъ линіи по краю линейки всегда точно вертикально, вслѣдствіе измѣняемости гигроскопическаго состоянія бумаги, вслѣдствіе несовершенствъ инструментовъ и т. п. предѣльную ошибку построения угла на планшетѣ можно считать въ 7'. Если будемъ опредѣлять градусную величину этого угла транспортомъ съ алидадою, то, зная по § 91, что средняя ошибка этого транспорта есть 1'23" или почти 1',4 средняя ошибка градусной величины угла будетъ  $= \sqrt{(1,7)^2 + (1,4)^2} = 2',2$ , предѣльная же ошибка  $= 6',6$ ; а принимая во вниманіе другія неизбѣжныя погрѣшности можно считать предѣльную ошибку равною по крайней мѣрѣ 8,5 минутамъ.

Имѣя точность построения угла на мензулѣ, можно показать, что наклонъ доски даже въ 2 градуса не имѣетъ на него вліянія. Вообразимъ

около точки  $m$  (черт. 324), находящейся на планшетѣ, сферу, описанную радиусомъ равнымъ единицѣ; пусть  $Z$  есть зенитъ; продолжимъ плоскость планшета до пересѣченія со сферою по большому кругу  $DD'$ , наклоненному къ горизонту  $HH'$  подъ угломъ  $i$ ; допустимъ, что оба эти круга пересѣкаются по линіи  $mA$ , представляющей одну изъ сторонъ угла  $AmB$ , подлежащаго изображенію на планшетѣ. Если коллимаціонная

Черт. 324.



плоскость визирнаго снаряда будетъ направлена послѣдовательно на точки  $A$  и  $B$  мѣстности, то на планшетѣ вмѣсто горизонтальнаго проложенія  $AmB = x$  угла мѣстности получится уголь  $AmB' = x'$ , и разность  $x' - x$ , которую обозначимъ чрезъ  $\Delta$ , будетъ выражать ошибку въ углѣ происходящую отъ наклонности планшета. Изъ прямоугольнаго сферическаго треугольника  $bAb'$  имѣемъ

$$\cos i = \operatorname{tg} x \cdot \cot x' \text{ или } \operatorname{tg} x' = \frac{\operatorname{tg} x}{\cos i}.$$

А такъ какъ, ограничиваясь членами втораго порядка

$$\cos i = 1 - \frac{1}{2} i^2 \cos^2 1'',$$

то

$$\operatorname{tg} x' = \operatorname{tg} x \left( 1 + \frac{1}{2} i^2 \sin^2 1'' \right).$$

или

$$\operatorname{tg} x' - \operatorname{tg} x = \frac{1}{2} i^2 \operatorname{tg} x \cdot \sin^2 1'';$$

отсюда

$$\frac{\sin(x' - x)}{\cos x' \cos x} = \frac{i^2}{2} \operatorname{tg} x \cdot \sin^2 1''.$$

Или, вслѣдствіе малой разницы угловъ  $x$  и  $x'$ , принимая  $\cos x' = \cos x$  и  $\sin(x' - x) = (x' - x) \sin 1''$ , имѣемъ

$$x' - x = \Delta = \frac{i^2}{4} \sin 2x \sin 1''.$$

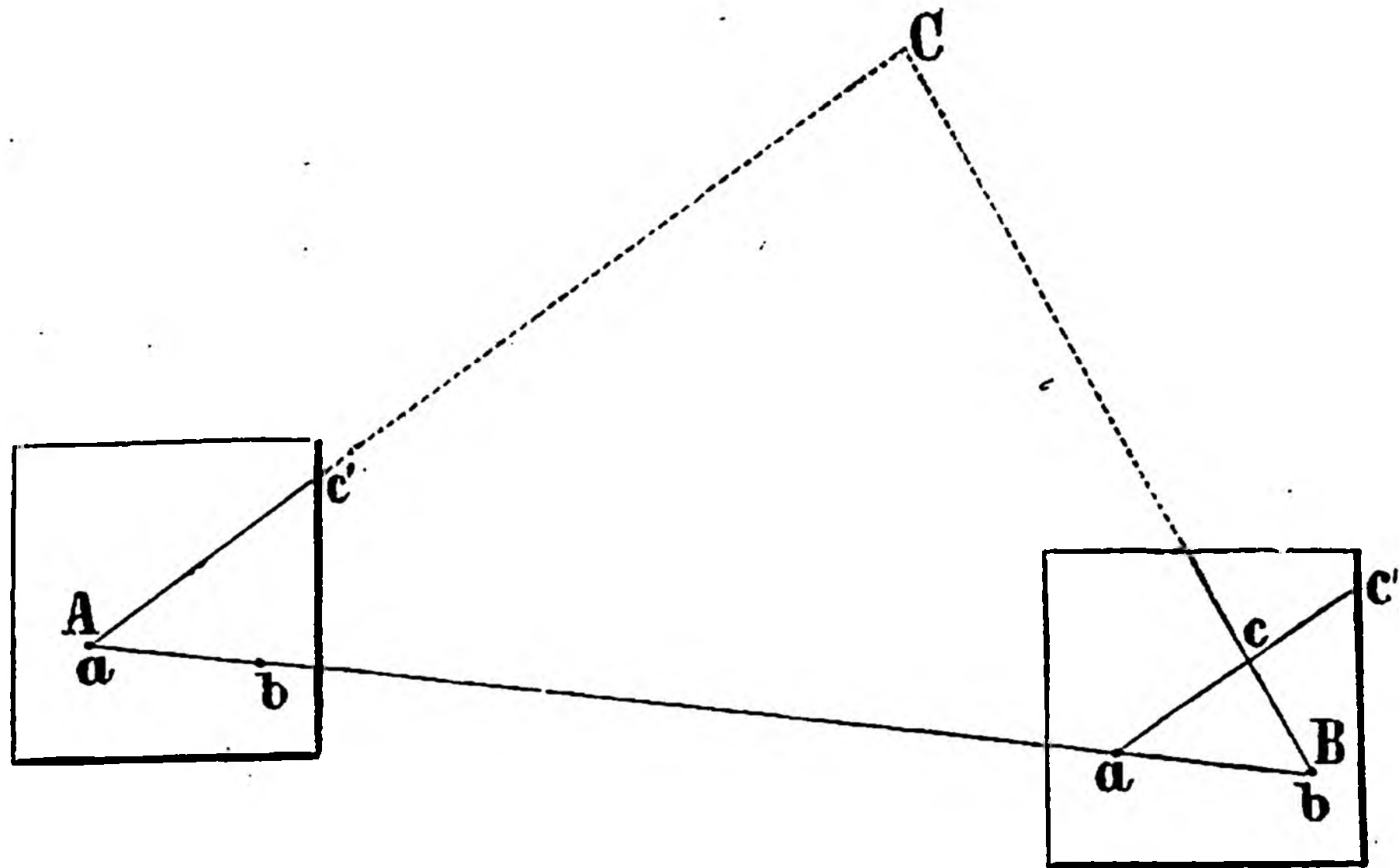
Отсюда при  $i = 2^\circ$  наибольшее значеніе  $\Delta$ , которое оно получаетъ при  $x = 45^\circ, 135^\circ, \dots$  будетъ  $1'$ ; т. е. наклоненіе доски даже въ  $2^\circ$  не имѣетъ вліянія на точность построенія на планшетѣ горизонтальнаго проложенія угла. На этомъ основаніи при мензулахъ употребляется уровень съ небольшою чувствительностью. (Цѣна дѣленія 2—3 минуты).

**§ 150.** *Опредѣленіе точки по двумъ даннымъ.* Эта задача допускаетъ четыре рѣшенія, которыя примѣняются сообразно обстоятельствамъ мѣстности и условій заданія.

*Первое рѣшеніе, становясь съ мензулою въ обѣихъ данныхъ точкахъ.* Пусть  $A$  и  $B$  (черт. 325) суть двѣ данныя на мѣстности точки,  $a$  и  $b$

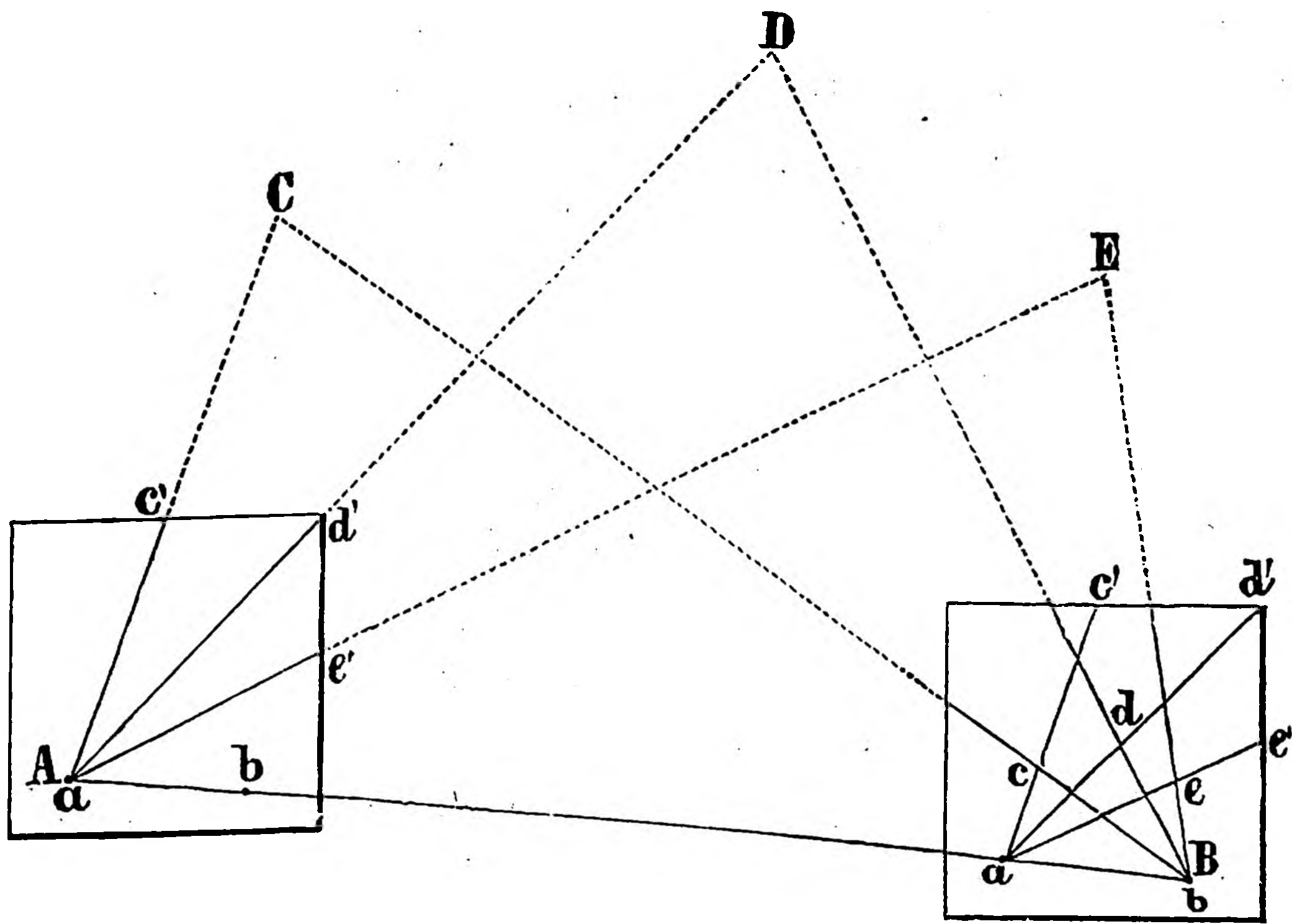
— соответственные имъ точки на планшетъ, а положеніе на планшетъ третьей точки  $C$  мѣстности требуется опредѣлить. Поставимъ мензулу сначала, напр. въ  $A$ , центрируемъ ее, приведемъ въ горизонтальное положеніе и ориентирuemъ по  $ab$ ; затѣмъ визируемъ чрезъ  $a$  на  $C$  и прочертимъ на планшетъ линію  $ac'$ . Послѣ того перенесемъ мензулу

Черт. 325.



въ  $B$ , установимъ ее здѣсь такъ же какъ и въ  $A$ , ориентирuemъ планшетъ по линіи  $ba$ , визируемъ чрезъ  $b$  на  $C$  и по ребру линейки прочертимъ линію. Эта линія пересѣчетъ линію  $ac'$  въ точкѣ  $c$  и дастъ изображеніе точки  $C$  мѣстности. Такой способъ рѣшенія задачи называется *застыкою впередъ*. Имъ можно опредѣлять не только одну точку, но и нѣсколько, что изображено на черт. 326.

Черт. 326.

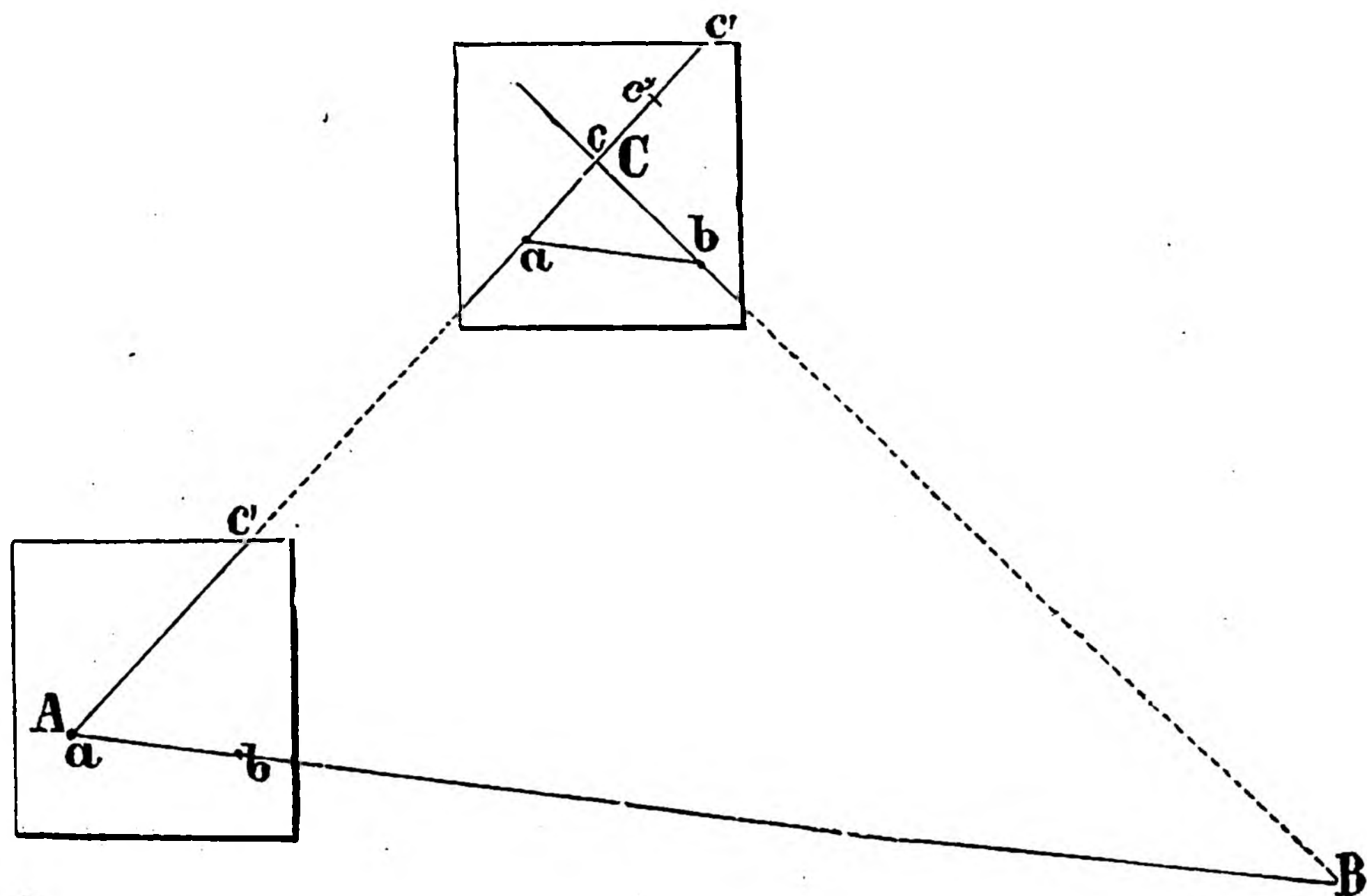


Этотъ способъ можетъ также служить и для опредѣленія неприступнаго разстоянія  $AC$  или  $CD$ ; при этомъ если линія  $ab$  не дана на планшетъ, то, выбравъ предварительно на мѣстности произвольную линію  $AB$ , измѣряютъ и откладываютъ ея длину на планшетъ по масштабу, а затѣмъ чрезъ концы  $a$  и  $b$  визируютъ на точки мѣстности.



Второе рѣшеніе, становясь съ мензулою въ одну изъ данныхъ и опредѣляемую точку. Послѣ надлежащей установки мензулы въ данной точкѣ  $A$  (черт. 327) ориентируютъ ее по данной на планшетѣ линіи  $ab$ , визируютъ чрезъ  $a$  на опредѣляемую точку  $C$  и прочерчиваютъ по ребру линейки линію  $ac'$ . Затѣмъ переносятъ мензулу въ  $C$ , назначаютъ на линіи  $ac'$  точку  $c''$ , изображающую приблизительно точку  $C$  мѣстности,

Черт. 327.



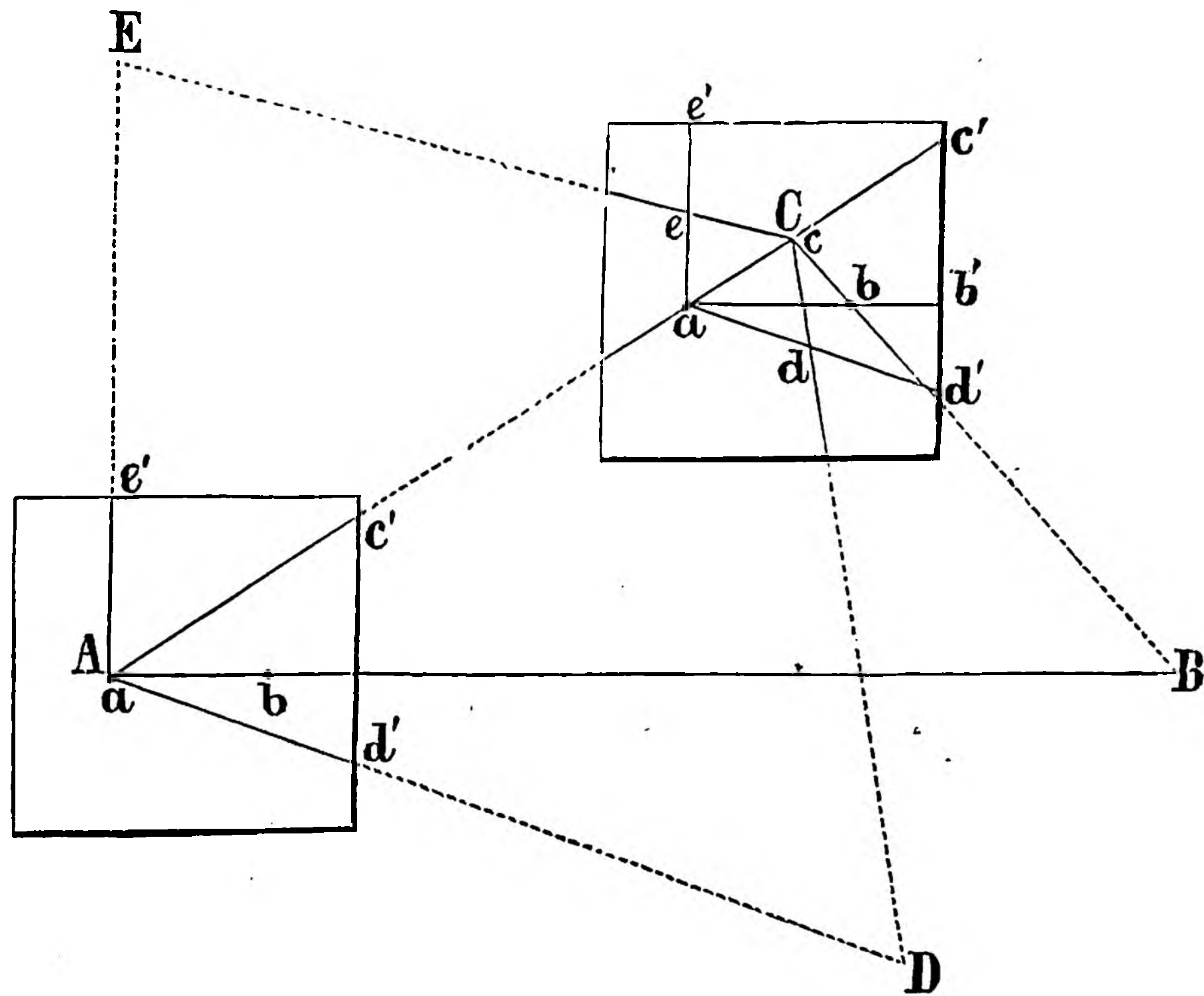
центрируютъ мензулу, приводятъ планшетъ въ горизонтальное положеніе, ориентируются по линіи  $c'a$ , прикладываютъ ребро линейки визирнаго снаряда къ  $b$ , визируютъ на  $B$  и засѣкаютъ линію  $ac'$  въ точкѣ  $c$ , которая и соотвѣтствуетъ точкѣ  $C$  мѣстности. Такъ какъ центрированіе мензулы было произведено при этомъ по точкѣ  $c''$ , назначенной на планшетъ приблизительно, то полученная точка  $c$ , въ случаѣ значительнаго ея разстоянія отъ  $c''$ , не будетъ соотвѣтствовать точкѣ  $C$  мѣстности и необходимо сдѣлать поправку; для чего опять центрируютъ мензулу по  $c$  и повторяютъ всѣ послѣдующія дѣйствія. Этотъ способъ опредѣленія точки называется *засѣчкою назадъ* или *обратною засѣчкою*. Онъ практикуется въ особенности тогда, когда одна изъ данныхъ точекъ есть естественный сигналъ, на который встать съ мензулою нельзя, напр. колокольня, конекъ дома и т. п.

Если бы требовалось опредѣлить нѣсколько точекъ мѣстности, то для быстроты работы одна изъ нихъ опредѣляется засѣчкою назадъ, а остальные засѣчкою впередъ, пользуясь точкою вновь опредѣленною, какъ это сдѣлано на черт. 328.

Третье рѣшеніе, становясь съ мензулою на данной линіи или на ея продолженіи. Положимъ мензулу нельзя поставить ни въ  $A$ , ни въ  $B$  (черт. 329), а можно только въ точку  $D$ , лежащую на  $AB$ . Назначивъ на данной линіи  $ab$  точку  $d'$ , приблизительно соотвѣтствующую точкѣ  $D$  мѣстности, устанавливаютъ мензулу на этой послѣдней точкѣ надлежащимъ образомъ, ориентируютъ планшетъ по  $AB$ , визируютъ чрезъ  $d'$  на  $C$  и прочерчиваютъ линію  $d'c'$ . Перенеся мензулу въ  $C$  и назначивъ на линіи  $d'c'$  точку  $c''$ , соотвѣтствующую приблизительно точкѣ

$C$ , центрируют мензулу по  $c''$  и ориентируют доску по  $c'd'$ ; тогда линия  $ab$  мензулы будет параллельна линии  $AB$  местности, и останется только определить точку  $c$  пересечением линий  $ac$  и  $bc$ , полученных

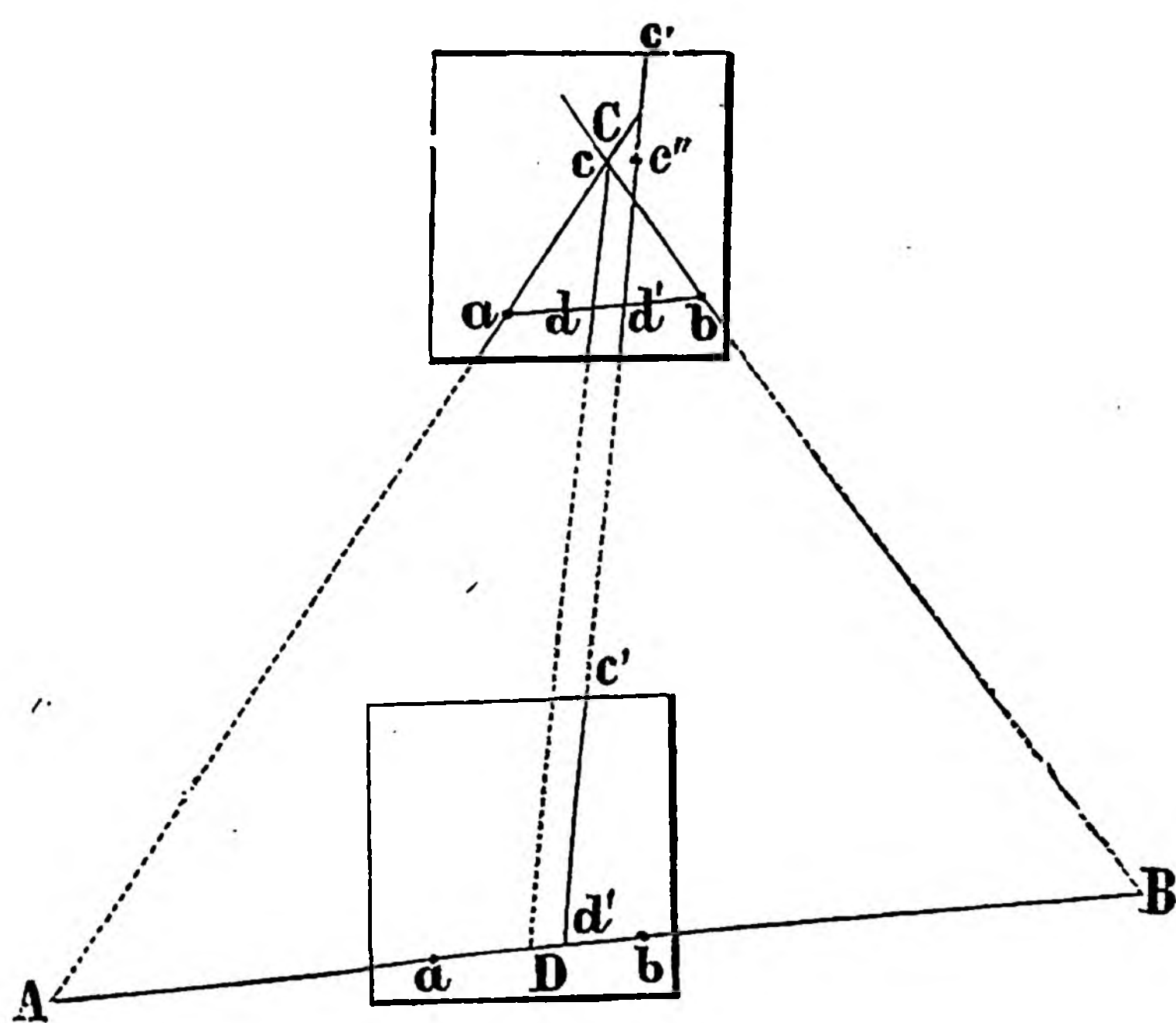
Черт. 328.



при визировании чрезъ  $a$  на  $A$  и чрезъ  $b$  на  $B$ . Для исправления, при надобности, положенія точки  $c$  центрируютъ доску этою точкою, ориентируютъ мензулу по линии  $cd$ , которая получится при визировании чрезъ  $c$  на  $D$ , и определяютъ точку стоянія новымъ визированіемъ чрезъ  $a$  на  $A$  и чрезъ  $b$  на  $B$ .

Точно также поступаютъ и тогда, когда точка  $D$  находится не между  $A$  и  $B$ , а на продолженіи линии, соединяющей эти точки.

Черт. 329.



Можно показать, что указанное въ предыдущемъ исправленіе положенія точки  $c$ , происходящее отъ ориентирования доски по  $c'd'$ , а не по  $cd$  придется производить только при значительномъ  $dd'$  и при небольшомъ разстояніи  $CD$ . Въ самомъ дѣлѣ вообразивъ, что точки  $d, d', C$  и  $D$

проектированы на одну какую нибудь горизонтальную плоскость и обозначены тѣми же буквами, а также принявъ что линия  $dd'$  перпендикулярна къ  $CD$  (случай — когда ошибка въ опредѣленіи  $c$  должна быть наиболѣе ощутительна), изъ треугольника  $dd'D$  (черт. 330) имѣемъ

$$dd' = d'D \operatorname{tg} d'Dd;$$

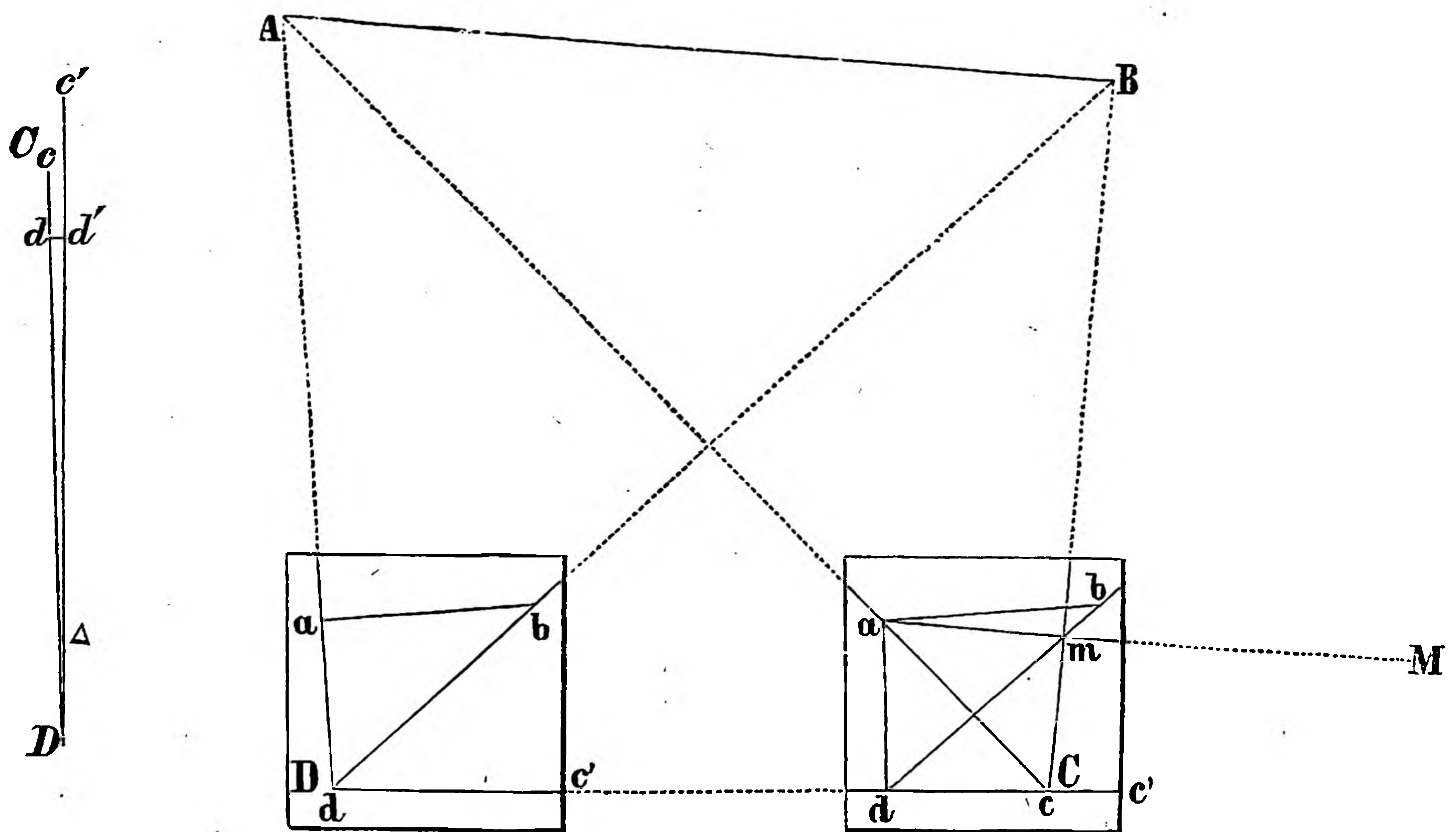
или, обозначивъ уг.  $d'Dd$  чрезъ  $\Delta$ , по малости его имѣемъ

$$\Delta = \frac{dd'}{d'D \sin 1''}.$$

Слѣдов.  $\Delta$  возрастаетъ съ увеличеніемъ  $dd'$  и уменьшеніемъ  $d'D$  или, что почти тоже, съ уменьшеніемъ  $CD$ . Если  $dd' = 1$  дюйму и  $d'D = 25$  саж., то  $\Delta = 1'6$ , что мало отличается отъ средней ошибки ориентированія мензулы, которая, какъ мы видѣли въ концѣ § 148, есть  $1'2$ ; слѣд. при разстояніи  $CD$  меньшемъ 25 саж. и  $dd'$  большею одного дюйма нужно исправлять первоначальное опредѣленіе положенія точки  $c$ ; въ противномъ случаѣ исправленіе производить не надо.

Черт. 330.

Черт. 331.



Четвертое рѣшеніе, становясь съ мензулою внѣ данной линіи. Вопросъ состоитъ въ опредѣленіи на планшетѣ точки, соотвѣтствующей точкѣ  $C$  (черт. 331) мѣстности, по даннымъ на мѣстности и на планшетѣ линіямъ  $AB$  и  $ab$  и не становясь ни въ  $A$ , ни въ  $B$ , ни на линіи  $AB$ , ни на ея продолженіи. Затруднительность опредѣленія точки въ этомъ случаѣ происходитъ отъ невозможности ориентировать мензулу по тѣмъ даннымъ, которыя на ней имѣются; и потому ближайшая цѣль должна состоять въ опредѣленіи на мензулѣ такой линіи, по которой можно было бы ориентировать планшетъ. Выбираютъ такую вспомогательную точку  $D$ , изъ которой были бы видны  $A$ ,  $B$  и  $C$ , становятся на ней мензулу такъ, чтобы линія  $ab$  была на глазъ параллельна  $AB$  и визируютъ чрезъ  $a$  на  $A$  и чрезъ  $b$  на  $B$ . Точка  $d$  пересѣченія линій

$Aa$  и  $Bb$  выразить приблизительное положеніе точки  $D$ . Послѣ этого визируютъ чрезъ  $d$  на  $C$ , переносятъ мензулу въ  $C$ , ориентируютъ ее по линіи  $c'd$  и визируютъ чрезъ  $a$  на  $A$ . Проведя при этомъ по ребру линейки линію, получаютъ точку  $c$ , чрезъ которую визируютъ на  $B$ , и замѣчаютъ на линіи  $db$  или на ея продолженіи точку  $m$  пересѣченія направленій  $db$  и  $cB$ . Можно доказать, что линія  $am$  на планшетѣ параллельна линіи  $AB$  на мѣстности; а если это такъ, то  $am$  есть та линія, по которой можно ориентировать доску. Въ самомъ дѣлѣ, если къ  $am$  приложимъ ребро визирнаго снаряда, то по направленію коллимаціонной плоскости его можно будетъ выставить вѣху  $M$ ; если затѣмъ приставимъ ребро той же линейки къ  $ab$  и повернемъ доску настолько, чтобы коллимаціонная плоскость проходила чрезъ  $M$ , то  $ab$  приметъ направленіе параллельное  $AB$ , и слѣдовательно мензула будетъ ориентирована. Затѣмъ пересѣченіе линій, полученныхъ при визированіи чрезъ  $a$  на  $A$  и чрезъ  $b$  на  $B$ , дастъ искомую на планшетѣ точку.

Параллельность линіи  $am$  на планшетѣ и линіи  $AB$  на мѣстности, доказывается такъ: изъ подобія треугольниковъ  $cdm$  и  $CDV$  имѣемъ

$$md : BD = cd : CD;$$

а изъ подобныхъ треугольниковъ  $acd$  и  $ACD$  имѣемъ

$$ad : AD = cd : CD.$$

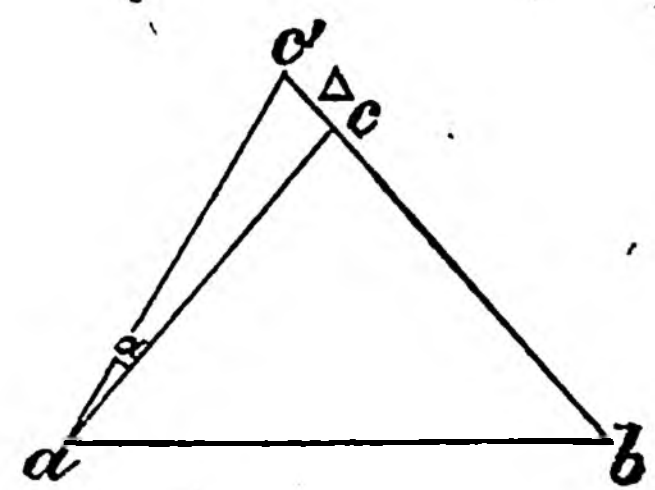
Слѣдов:

$$md : BD = ad : AD.$$

Но такъ какъ уголъ  $mda$  равенъ углу  $BDA$  по параллельности сторонъ, то треугольники  $mda$  и  $BDA$  подобны, и слѣдов. линія  $am$  параллельна  $AB$ .

Во всѣхъ предыдущихъ рѣшеніяхъ задачи искомая точка опредѣляется пересѣченіемъ линій, проводимыхъ по планшету, а потому естественно возникнуть вопросу — подѣ какимъ угломъ это пересѣченіе линій наиболее выгодно? Положимъ, что точка  $c$  (черт. 332) опредѣлялась пересѣченіемъ линій  $ac$  и  $bc$  и что при построеніи на планшетѣ угла  $cab$  была сдѣлана неизбежная погрѣшность  $cas' = \alpha$ ; слѣдствіемъ этого было то, что вмѣсто точки  $c$  на планшетѣ получилась  $c'$ , а вмѣсто линіи  $bc$  имѣемъ линію  $bc'$ , ошибочную на величину  $cc' = \Delta$ . Эта ошибка  $\Delta$  можетъ быть вычислена изъ треугольника  $acc'$ ; а именно:

Черт. 332.



$$\Delta = d \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin c},$$

гдѣ  $d$  есть длина  $ac'$  почти равная  $ac$ . Изъ предыдущаго равенства видно, что, при одной и той же длинѣ  $d$  и при одной и той же погрѣшности  $\alpha$  ошибка  $\Delta$  будетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе  $\sin c$ ; а такъ какъ наибольшая величина для  $\sin c$  есть 1, что соотвѣтствуетъ  $c = 90^\circ$ , то слѣдов. наиболее выгодное пересѣченіе линій происходитъ подѣ прямымъ угломъ,

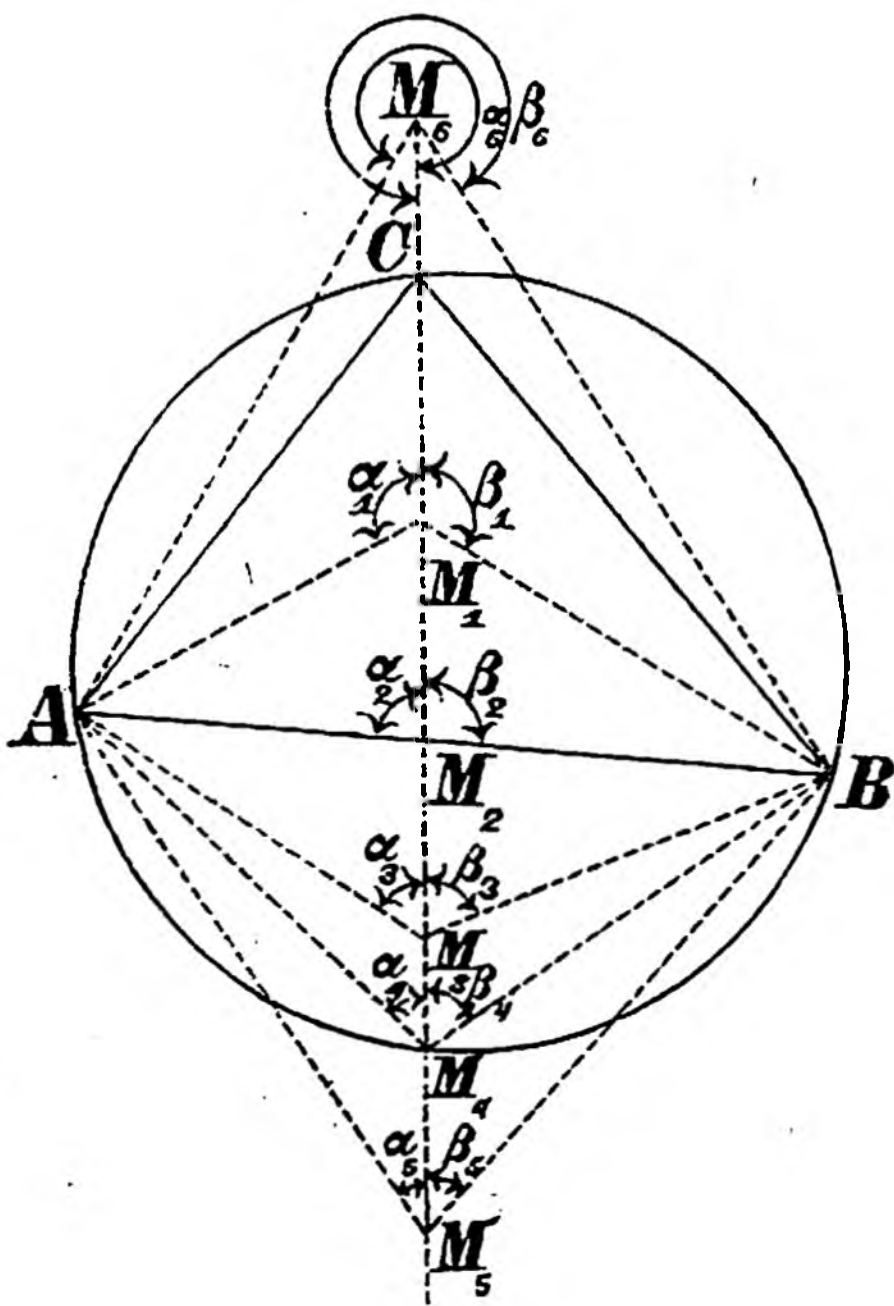
когда ошибка въ длинѣ стороны треугольника имѣетъ наименьшее значеніе. При  $c = 30^\circ$  или  $150^\circ$  ошибка  $\Delta$  удваивается; а именно, такъ какъ  $\sin 30^\circ = \sin 150^\circ = \frac{1}{2}$ , то

$$\Delta = 2d \sin \alpha.$$

Поэтому углы въ  $30^\circ$  и  $150^\circ$  считаются предѣльными и засѣчка, лежащая внѣ ихъ, т. е. сдѣланная подъ угломъ или меньшимъ  $30^\circ$ , или большимъ  $150^\circ$ , считается неудовлетворительною.

**§ 151.** *Опредѣленіе точки по тремъ даннымъ, называемое также задачею Потенота\**), по имени французскаго математика. Эта задача имѣетъ при мензуральной съемкѣ большое значеніе, а потому мы займемся ею съ нѣкоторою подробностью. Она состоитъ въ томъ, что на мѣстности и на планшетѣ даны 3 точки:  $A, B, C$  (черт. 333) и требуется опредѣлить относительно ихъ на планшетѣ положеніе четвертой точки, не становясь ни на одну изъ данныхъ. При рѣшеніи могутъ быть шесть

Черт. 333.

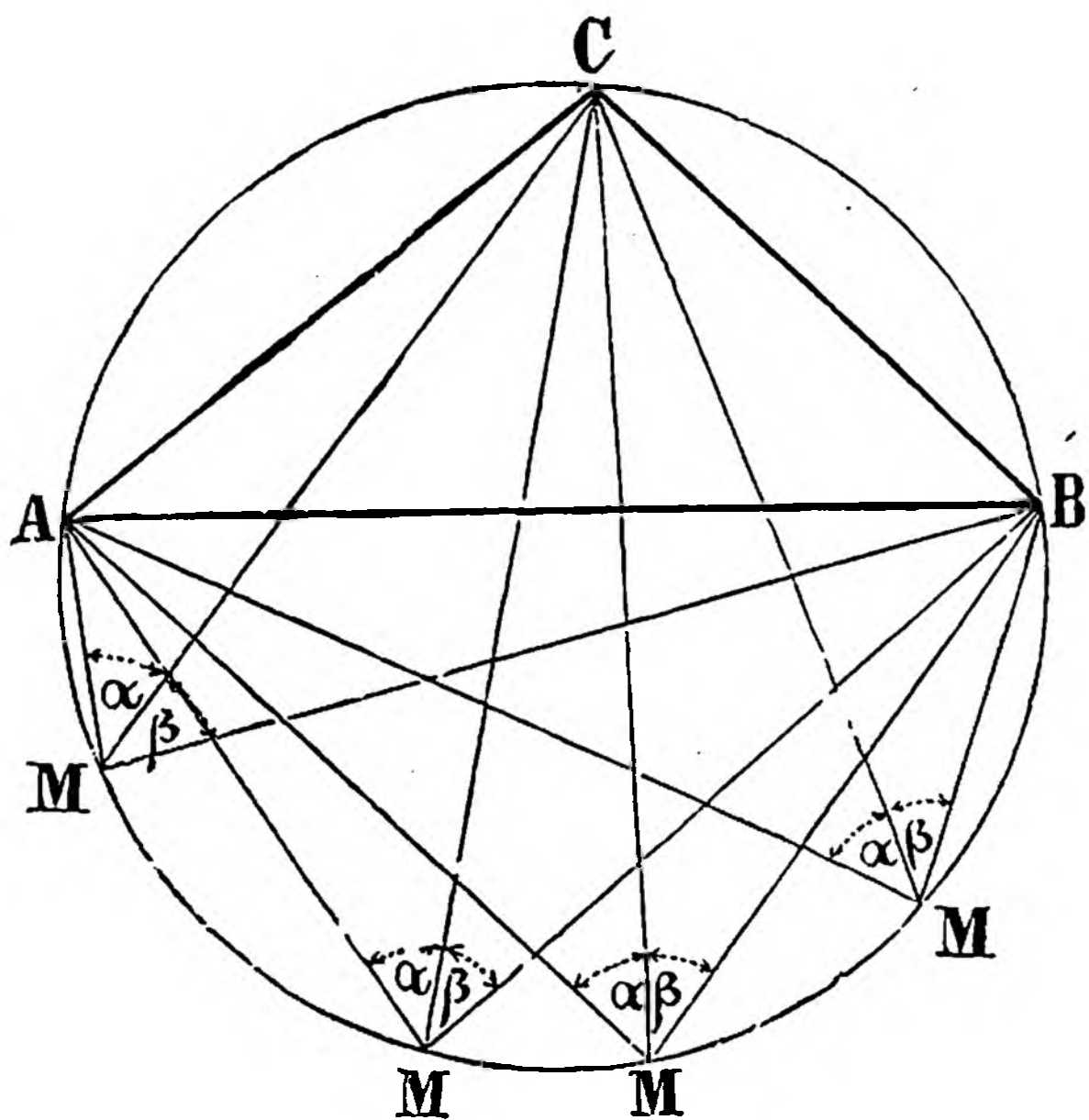


случаевъ: 1) опредѣляемая точка  $M_1$  лежитъ внутри даннаго треугольника  $ABC$ , 2) опредѣляемая точка  $M_2$  лежитъ на одной изъ сторонъ, напр.  $AB$ , даннаго треугольника, 3) точка  $M_3$  лежитъ между стороною даннаго треугольника и окружностью, проходящею чрезъ данныя точки, 4) точка  $M_4$  лежитъ на этой окружности, 5) точка  $M_5$  лежитъ внѣ этой окружности и 6) точка  $M_6$  лежитъ между продолженными сторонами одного изъ угловъ даннаго треугольника. Для угловъ  $\alpha$  и  $\beta$ , которые лежатъ при опредѣляемой точкѣ и которые послужатъ, какъ увидимъ впоследствии, для опредѣленія ея, введемъ нѣкоторое условіе, а именно: будемъ обозначать чрезъ  $\alpha$  уголъ, считаеый отъ направленія на лѣвый предметъ *вправо* до направленія на средній предметъ, а чрезъ  $\beta$  — уголъ считаеый отъ направленія на средній предметъ также *вправо* до направленія на правый; такъ, если предметы  $A, C$  и  $B$  будемъ принимать соотвѣтственно за лѣвый, средній и правый, то подъ углами  $\alpha$  и  $\beta$  нужно понимать для всѣхъ случаевъ углы обведенные на чертежѣ. Наибольшаго времени потребуетъ разсмотрѣніе четырехъ изъ приведенныхъ случаевъ, такъ какъ два изъ нихъ: когда точка ( $M_2$ ) лежитъ на сторонѣ даннаго треугольника чрезвычайно простъ, а другой случай когда точка ( $M_4$ ) лежитъ на окружности долженъ быть совсѣмъ исключенъ изъ разсмотрѣнія, вслѣдствіе

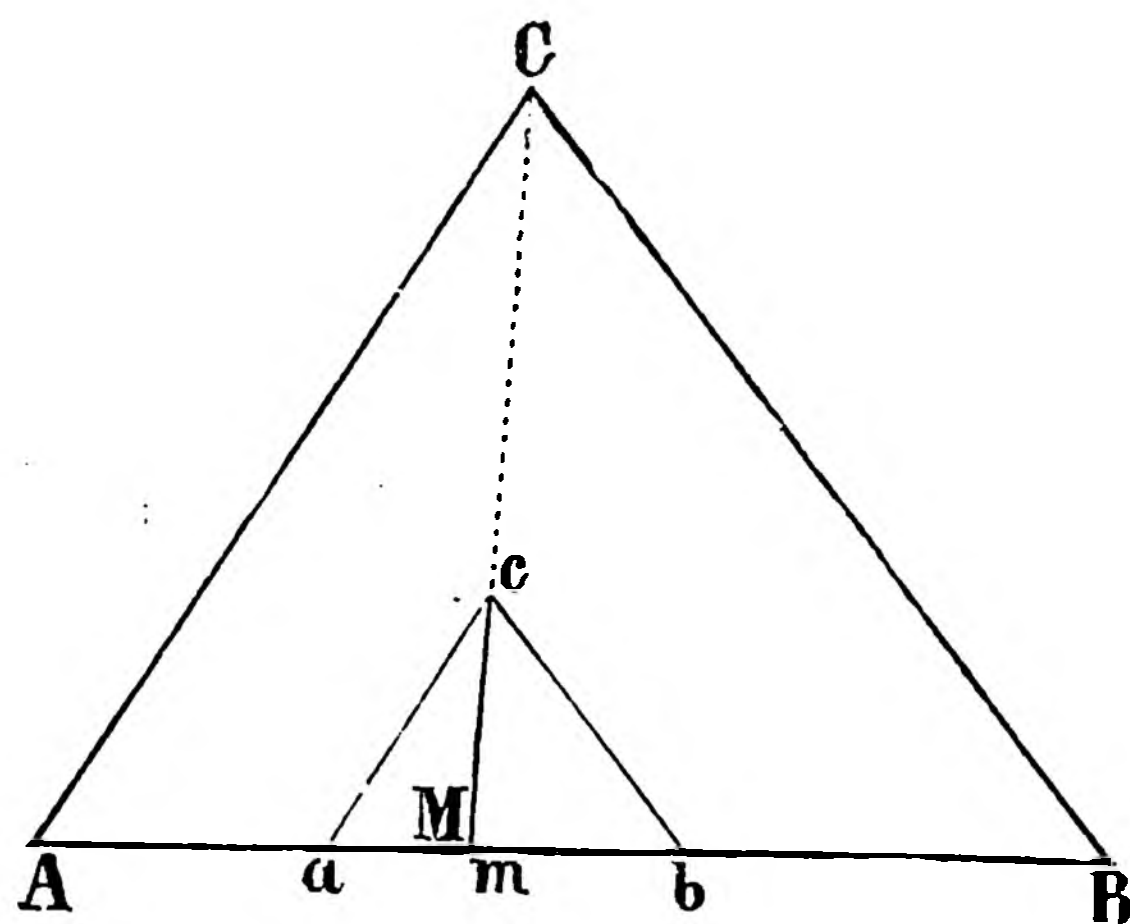
\*) Задачу эту предложилъ и рѣшилъ собственно голландскій математикъ *Виллебрордъ Снеллиусъ* въ 1614 году, а *Лоренъ Потенотъ*, профессоръ математики и членъ парижской академіи наукъ, далъ болѣе удобное ея рѣшеніе въ 1692 году. Этою задачею занимались многіе геометры и астрономы прошедшаго и настоящаго столѣтія.

невозможности рѣшить въ этомъ случаѣ задачу по тѣмъ даннымъ, которыя достаточны для остальныхъ случаевъ, ибо опредѣляемая точка можетъ лежать при этомъ, какъ видно изъ черт. 334, на различныхъ мѣстахъ одной и той же окружности  $ACB$ , имѣя при себѣ одни и тѣ же углы  $\alpha$  и  $\beta$ .

Черт. 334.



Черт. 335.



Въ томъ случаѣ, когда опредѣляемая точка  $M$  (черт. 335) лежитъ на сторонѣ  $AB$  даннаго треугольника, ориентируютъ планшетъ въ точкѣ  $M$  по линіи  $ab$  и засѣкаютъ ее визируя чрезъ  $c$  на  $C$ . Полученная при этомъ точка  $m$  на планшетѣ соотвѣтствуетъ точкѣ  $M$  на мѣстности.

Существуетъ такъ много рѣшеній настоящей задачи, что привести здѣсь всѣ и невозможно, и бесполезно, вслѣдствіе сложности и неудобства нѣкоторыхъ изъ нихъ. Слѣдуетъ однако обратить вниманіе на то, что всѣ *геометрическія* рѣшенія могутъ быть отнесены къ одной изъ двухъ группъ: рѣшенія *непосредственныя* и рѣшенія *посредственныя*, иначе называемыя рѣшеніями *по приближенію* или способами *треугольника погрѣшностей*. Приведемъ изъ той и другой группы рѣшенія наиболѣе употребительныя, а именно: два рѣшенія непосредственныя (*Боненбергера\** — *Бесселя* и *Грунерта\*\**) и два рѣшенія посредственныя (*Лемана\*\*\** и *Боненбергера*).

Основаніемъ для рѣшенія задачи Потенота служитъ то, что знаніе двухъ угловъ  $\alpha$  и  $\beta$ , кромѣ указаннаго въ предыдущемъ случаѣ, вполне достаточно для опредѣленія положенія четвертой точки по тремъ даннымъ. Для доказательства вообразимъ, что чрезъ три данныя точки  $A$ ,  $B$  и  $C$

\*) *Иванъ-Готлибъ Боненбергеръ*, профессоръ математики и астрономіи въ Вюртембергѣ, род. въ 1765 г., ум. въ 1831 г. О Бесселѣ см. выноску на стр. 2.

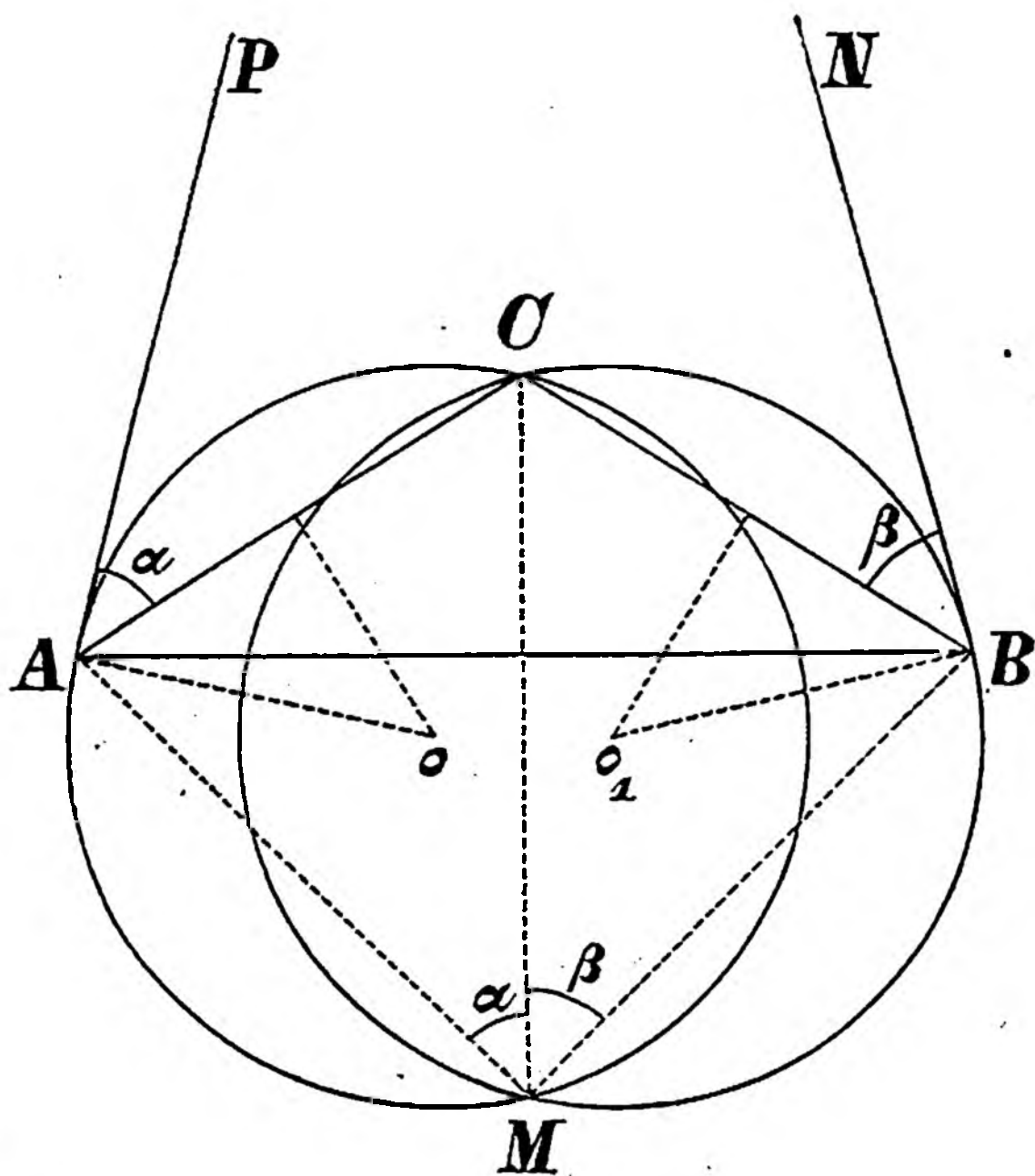
\*\*) *Иванъ-Августъ Грунертъ*, профессоръ математики въ Пруссіи, род. въ 1795 г. ум. въ 1872 г.

\*\*\*) *Иванъ-Георгъ Леманъ*, топографъ, саксонскій майоръ, род. въ 1765 г., ум. въ 1811 г.

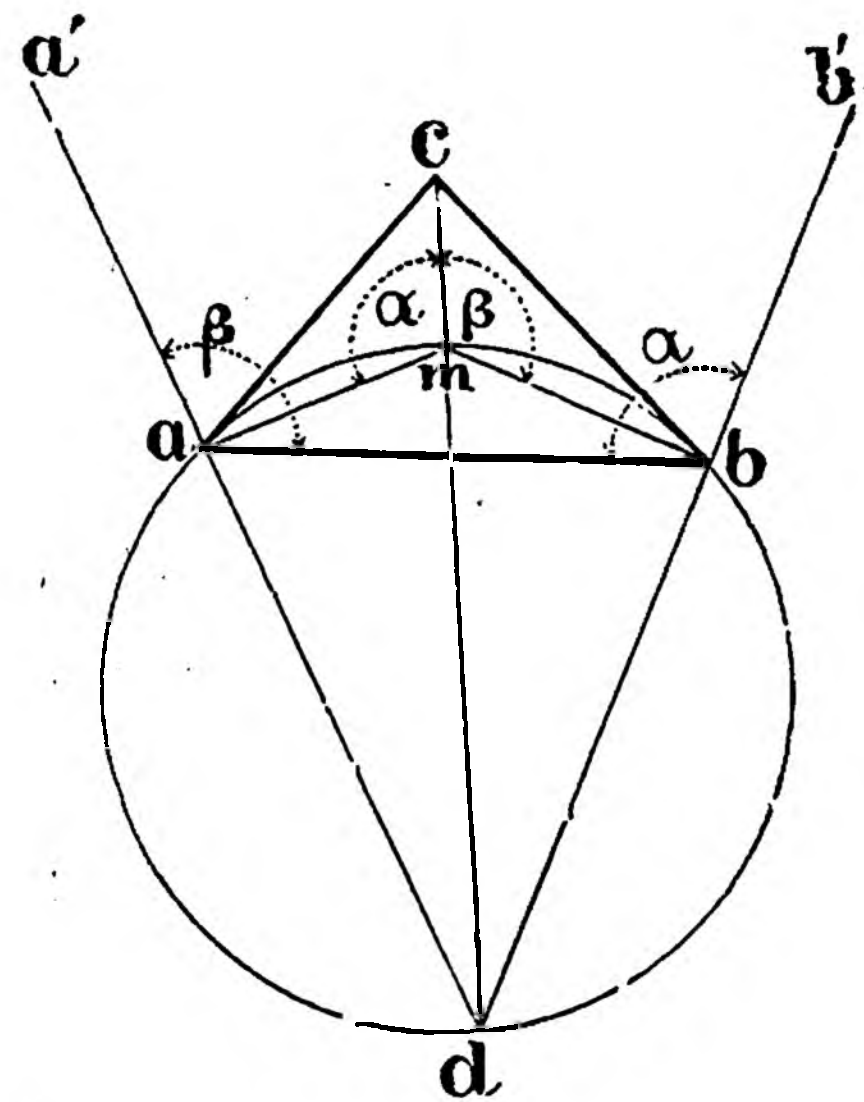
(черт. 336), и искомую точку  $M$  проведены двѣ окружности такъ, что одна изъ нихъ проходитъ чрезъ  $A$ ,  $C$  и вмѣщаетъ уголъ  $\alpha$ , а другая проходя чрезъ  $C$  и  $B$  вмѣщаетъ уголъ  $\beta$ . Для нахождения центровъ  $o$  и  $o_1$  этихъ окружностей нужно, какъ извѣстно изъ элементарной геометріи, построить при точкѣ  $A$  на линіи  $AC$  уголъ  $PAC = \alpha$ , а при точкѣ  $B$  на линіи  $BC$  уголъ  $NBC = \beta$ ; тогда, возставивъ къ линіямъ  $AP$  и  $BN$  въ точкахъ  $A$  и  $B$  перпендикуляры и продолживъ ихъ до пересѣченія съ перпендикулярами, проведенными чрезъ середины сторонъ  $AC$  и  $BC$ , получимъ центры  $o$  и  $o_1$ . Эти окружности пересѣкаются *только* въ двухъ точкахъ, изъ которыхъ одна есть  $C$ , а другая —  $M$ , при которой образуются данные углы  $\alpha$  и  $\beta$  и потому не существуетъ еще другой точки, при которой могли бы образоваться тѣ же углы при соединеніи ея съ точками  $A$ ,  $C$  и  $B$ . Слѣдов. угловъ  $\alpha$  и  $\beta$  достаточно для опредѣленія положенія точки  $M$  относительно трехъ данныхъ точекъ  $A$ ,  $C$  и  $B$ .

Переходя къ различнымъ способамъ рѣшенія, будемъ каждому изъ нихъ предпосылать теорію, на которой онъ основанъ, а затѣмъ уже покажемъ примѣненіе этого способа на практикѣ.

Черт. 336.



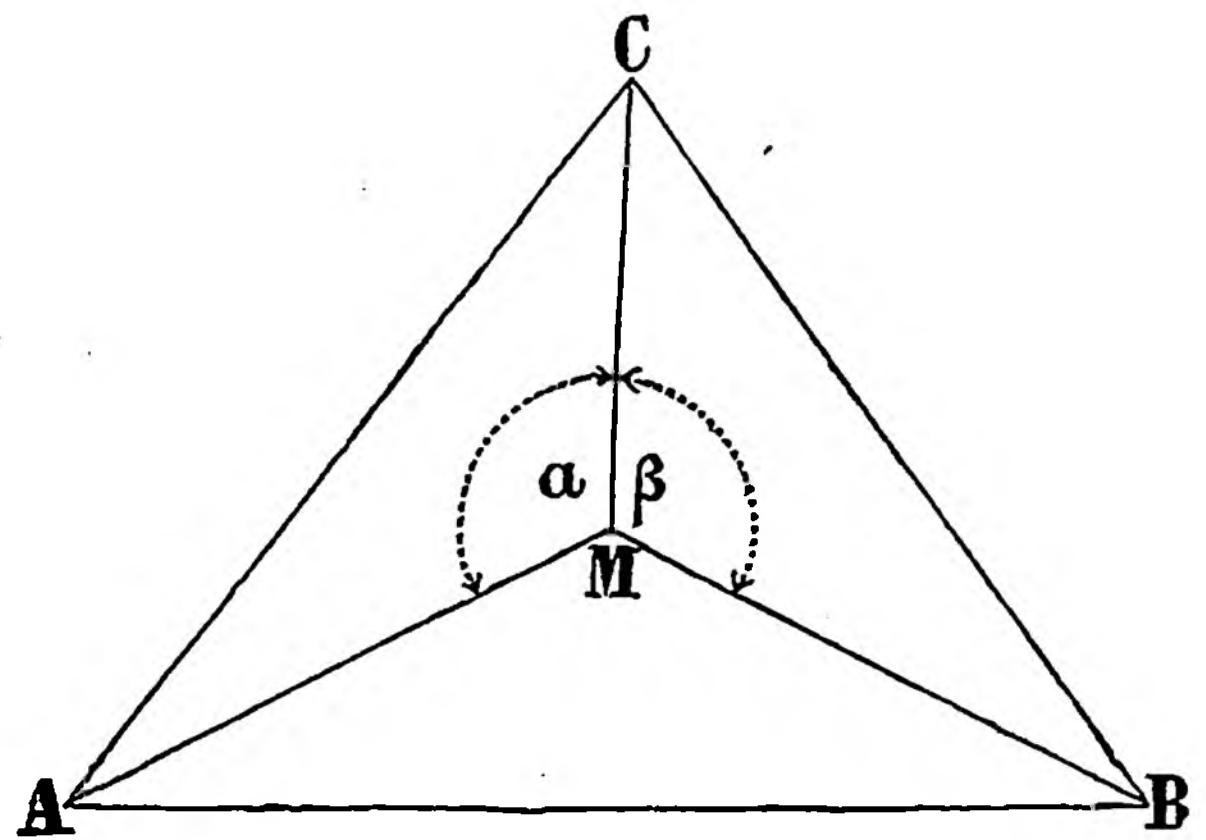
Черт. 337.



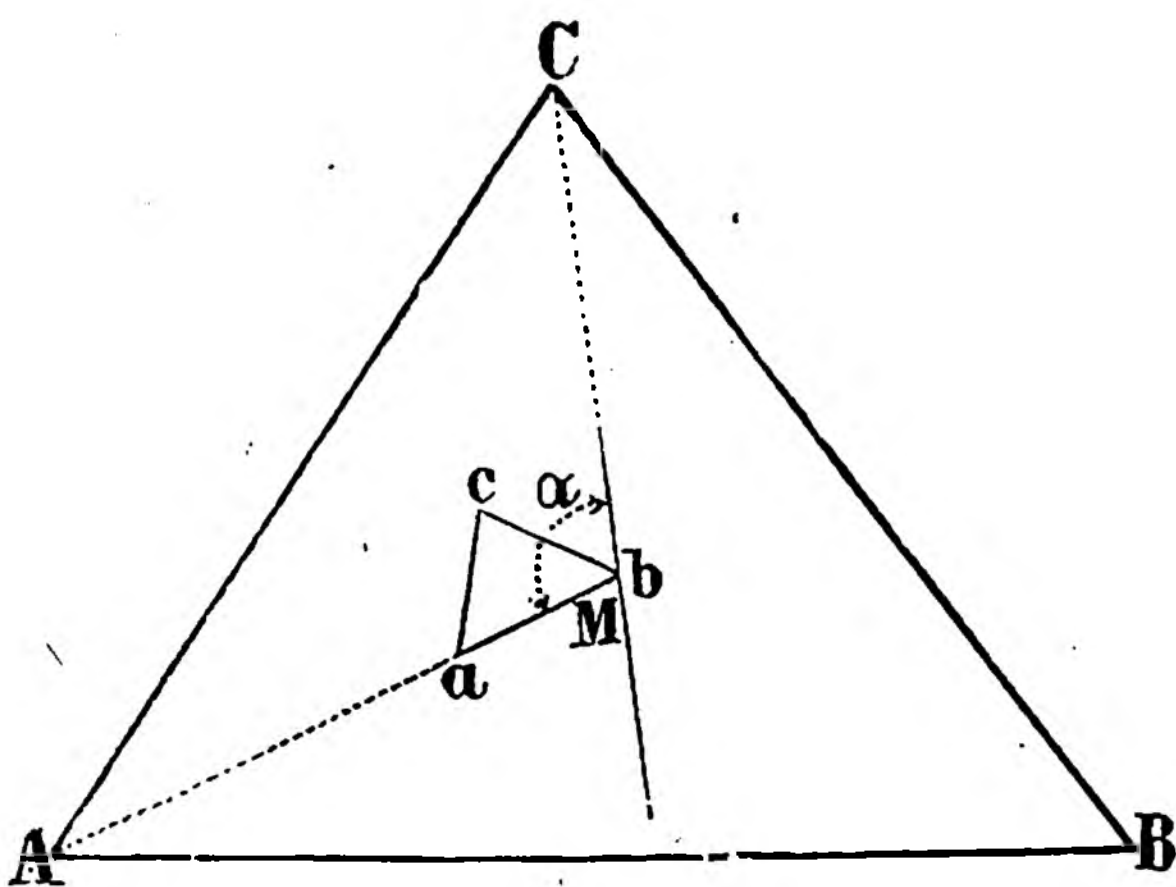
**§ 152. Рѣшенія непосредственныя:** а) способъ Боненбергера — Бесселя. Пусть данныя на планшетѣ точки  $a$ ,  $b$  и  $c$  (черт. 337) соотвѣтствуютъ точкамъ  $A$ ,  $B$  и  $C$  мѣстности и положимъ, что искомая точка  $m$  на планшетѣ найдена. Проведемъ чрезъ точки  $a$ ,  $m$  и  $b$  окружность и соединимъ  $c$  съ  $m$  прямою, которую продолжимъ до пересѣченія съ окружностью въ точкѣ  $d$ ; затѣмъ соединимъ  $d$  съ  $a$  и  $b$  и продолжимъ эти линіи. Углы  $b'ba$  и  $a'ab$  соотвѣтственно равны угламъ  $amc$  и  $mtb$  какъ дополненія до  $180^\circ$  угламъ, измѣряющимся половиною однѣхъ и тѣхъ же дугъ; но такъ какъ уголъ  $amc$  есть  $\alpha$ , а уг.  $mtb = \beta$ , то  $b'ba = \alpha$  и  $a'ab = \beta$ . Отсюда видно, что если на  $ab$  при точкѣ  $b$  построимъ уголъ  $b'ba = \alpha$ , а при точкѣ  $a$  уг.  $a'ab = \beta$ , затѣмъ продолжимъ полученныя линіи до ихъ пересѣченія въ  $d$  и наконецъ соединимъ  $d$  съ  $c$ , то искомая точка должна лежать на линіи  $cd$ .

На основаніи этой теоріи самое опредѣленіе положенія точки  $m$  на планшетѣ дѣлается такъ: поставя мензулу въ опредѣляемой точкѣ  $M$  (черт. 338) и приложивъ ребро линейки визирнаго снаряда къ линіи  $ba$  (черт. 339), поворачиваютъ доску до тѣхъ поръ, пока коллимаціонная плоскость его будетъ проходить чрезъ  $A$ , затѣмъ визируютъ чрезъ  $b$  на  $C$  и проводятъ по ребру линію. Такимъ путемъ построены на линіи  $ab$  при точкѣ  $b$  уголъ  $\alpha$ . Послѣ этого прикладываютъ ребро линейки къ той же линіи  $ab$ , но только повернувъ визирный снарядъ на  $180^\circ$ , поворачиваютъ доску до продолженія коллимаціонной плоскости чрезъ  $B$  (черт. 340), визируютъ чрезъ  $a$  на  $C$  и проводятъ по ребру линію до пересѣченія въ точкѣ  $d$  со стороною вновь построеннаго угла  $\alpha$ . Такимъ образомъ при точкѣ  $a$  построили на планшетѣ уголъ  $\beta$ . Затѣмъ приложивъ ребро линейки къ точкамъ  $d$  и  $c$ , прочерчиваютъ линію, чрезъ

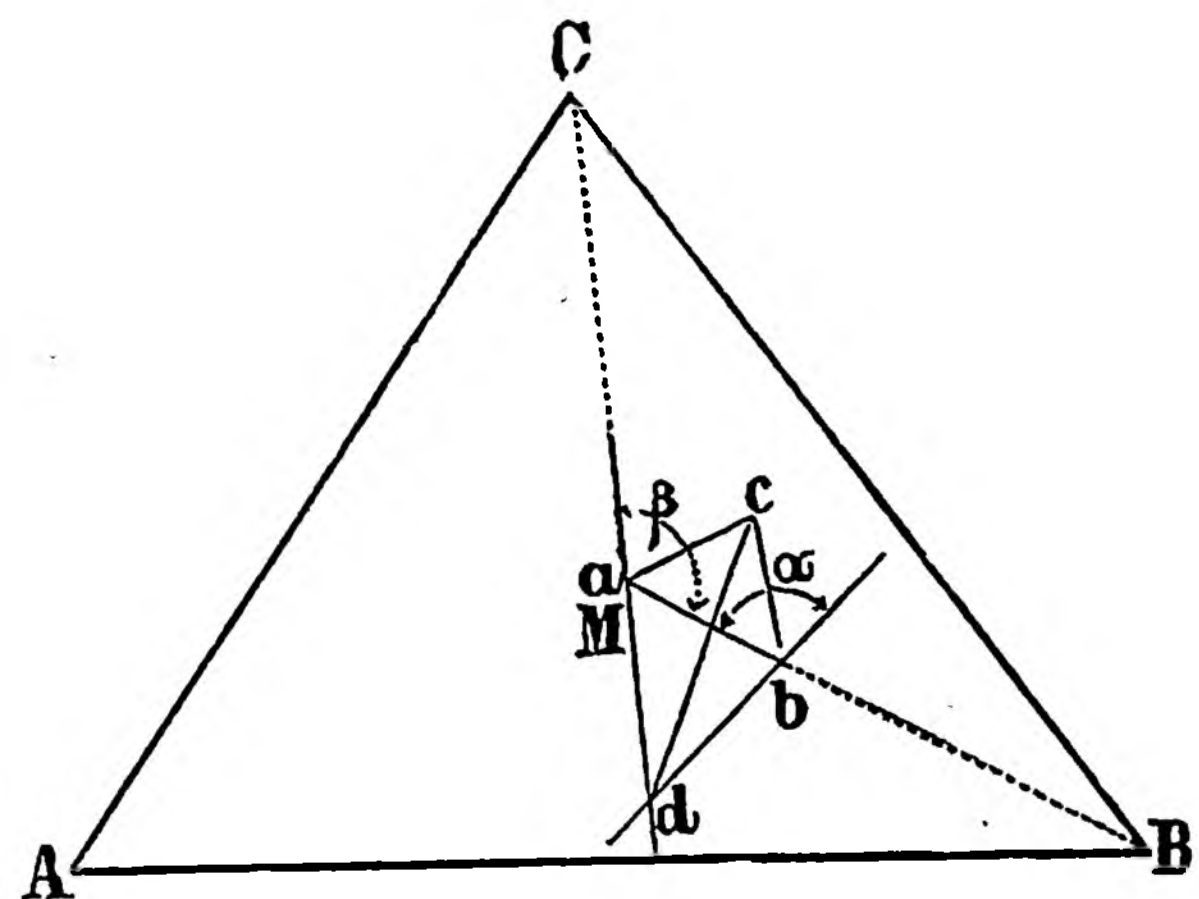
Черт. 338.



Черт. 339.

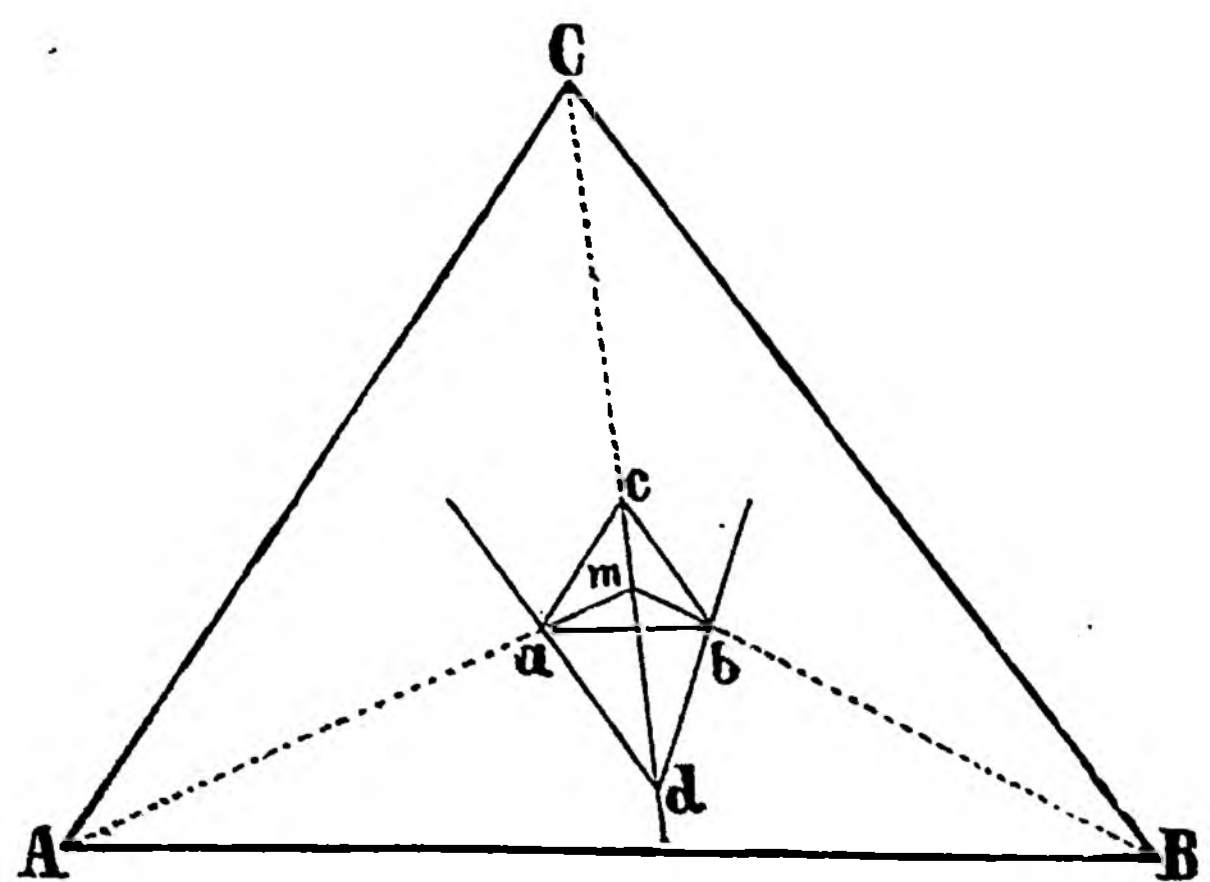


Черт. 340.



нихъ проходящую, и поворачиваютъ доску до прохожденія коллимаціонной плоскости визирнаго снаряда чрезъ точку  $C$  (черт. 341). Послѣ этого планшетъ будетъ ориентированъ и для опредѣленія точки  $m$  останется только визировать чрезъ  $a$  на  $A$  и провести по ребру линію, которая пересѣчетъ линію  $cd$  въ точкѣ  $m$ . Для повѣрки нужно также сдѣлать визированіе чрезъ  $b$  на  $B$ , и проведенная при этомъ линія должна въ случаѣ вѣрности работы проходить чрезъ ту же точку  $m$ .

Черт. 341.

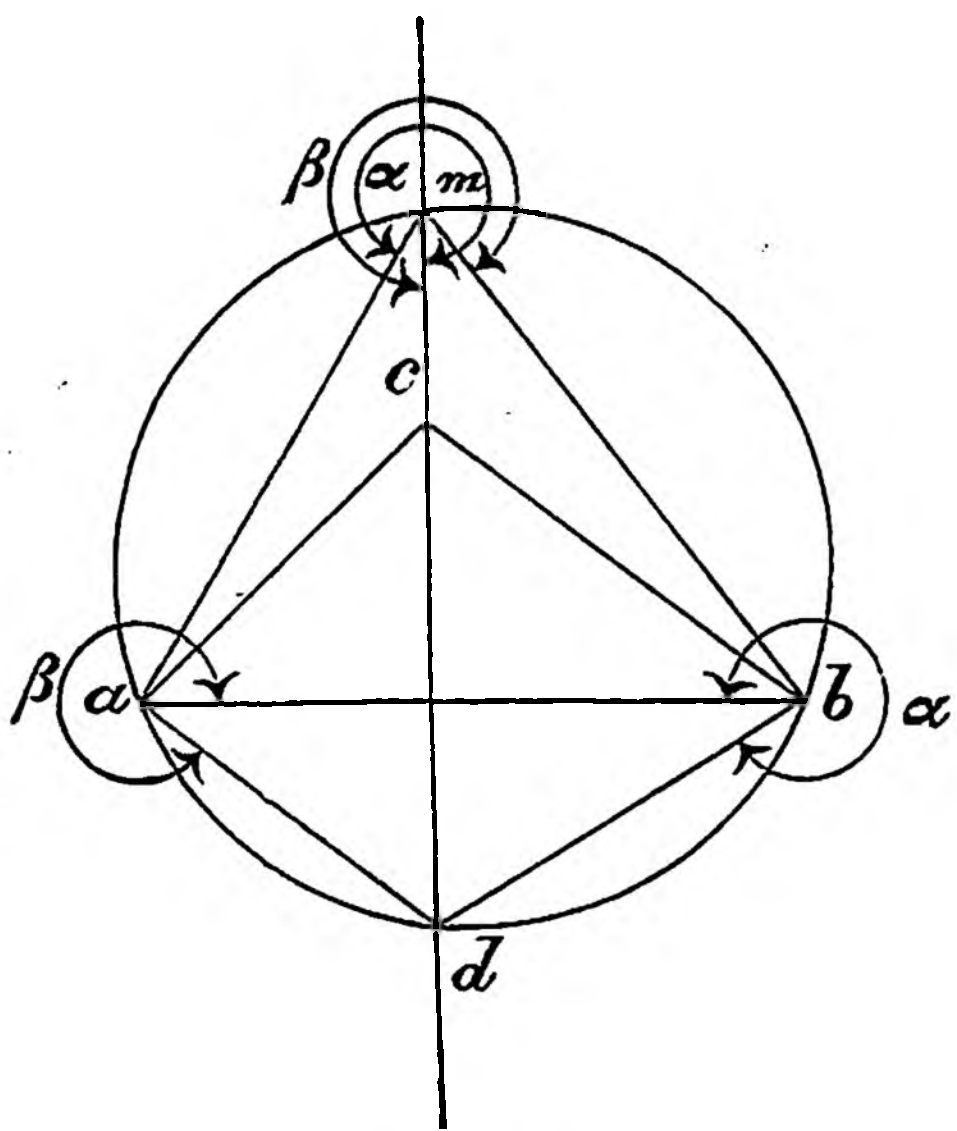


Въ предыдущемъ разсмотрѣнъ случай, когда опредѣляемая точка лежитъ внутри даннаго на мѣстности треугольника, но та же теорія и такое же примѣненіе ея справедливы и для всѣхъ остальныхъ случаевъ положенія опредѣляемой точки. Такъ напр. если искомая точка лежитъ

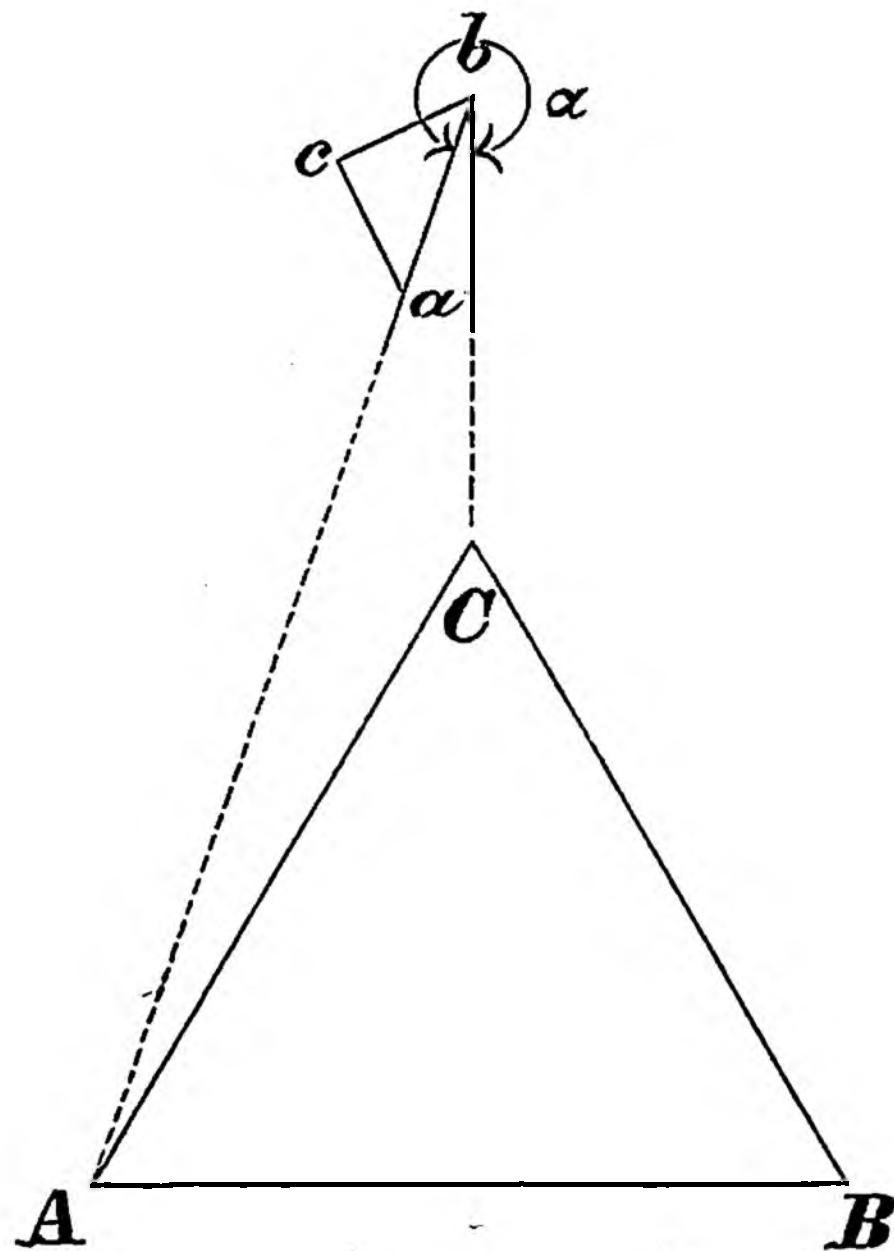


между продолженными сторонами угла  $c$  (черт. 342) данного треугольника, то вообразивъ опять, что точка  $m$  найдена и описавъ окружность, проходящую чрезъ  $m$ ,  $a$  и  $b$ , соединимъ  $m$  съ  $c$  и продолжимъ до пересѣченія съ окружностью въ  $d$ . Если теперь  $d$  соединимъ съ  $a$  и  $b$ , то уг.  $amd = \text{уг. } abd$ , какъ измѣряющіеся половиною одной и той же дуги  $ad$ , а потому  $360^\circ - amd = \alpha = 360^\circ - abd$ . Точно также докажемъ, что  $\beta = 360^\circ - dmb = 360^\circ - dab$ ; слѣдов. если линія  $cd$  на планшетѣ получена, то искомая точка  $m$  должна лежать по ея направленію.

Черт. 342.

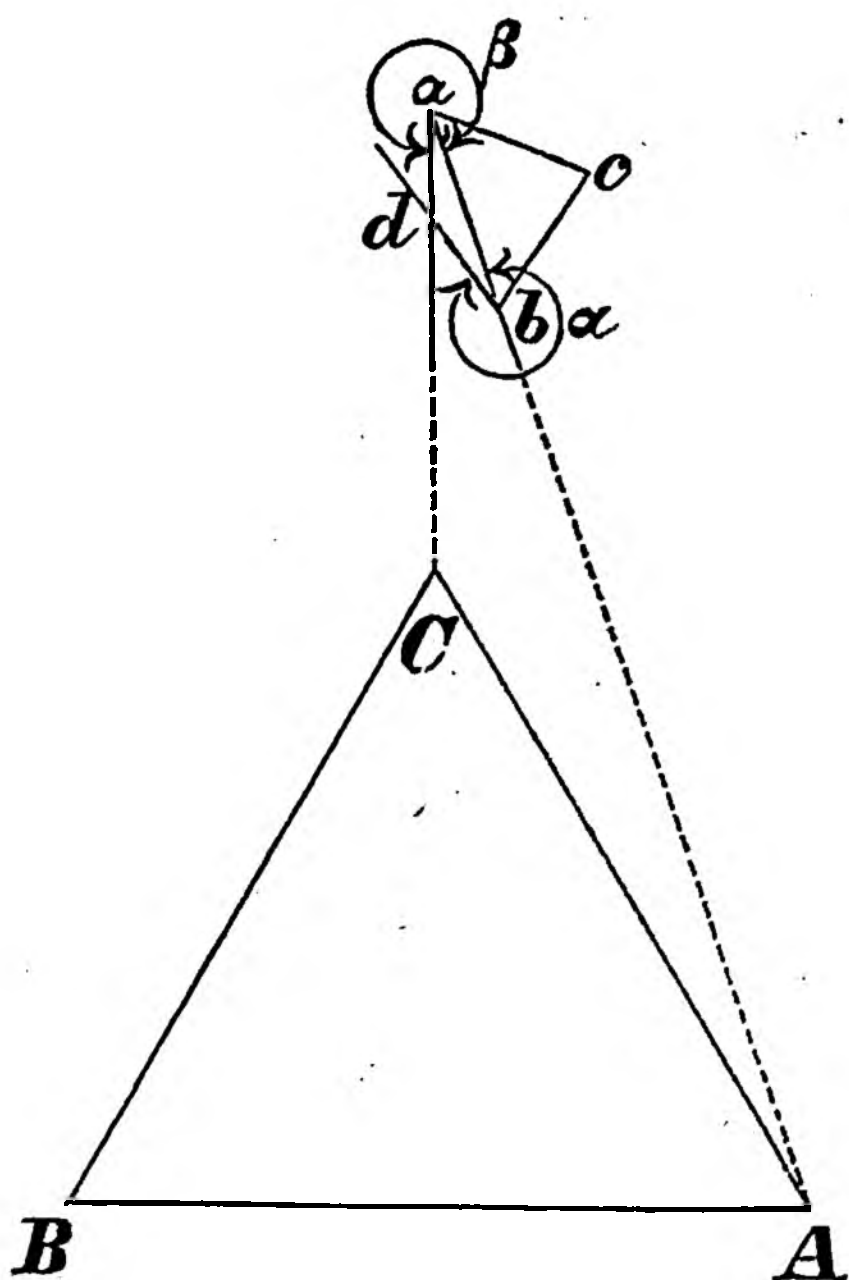


Черт. 343.

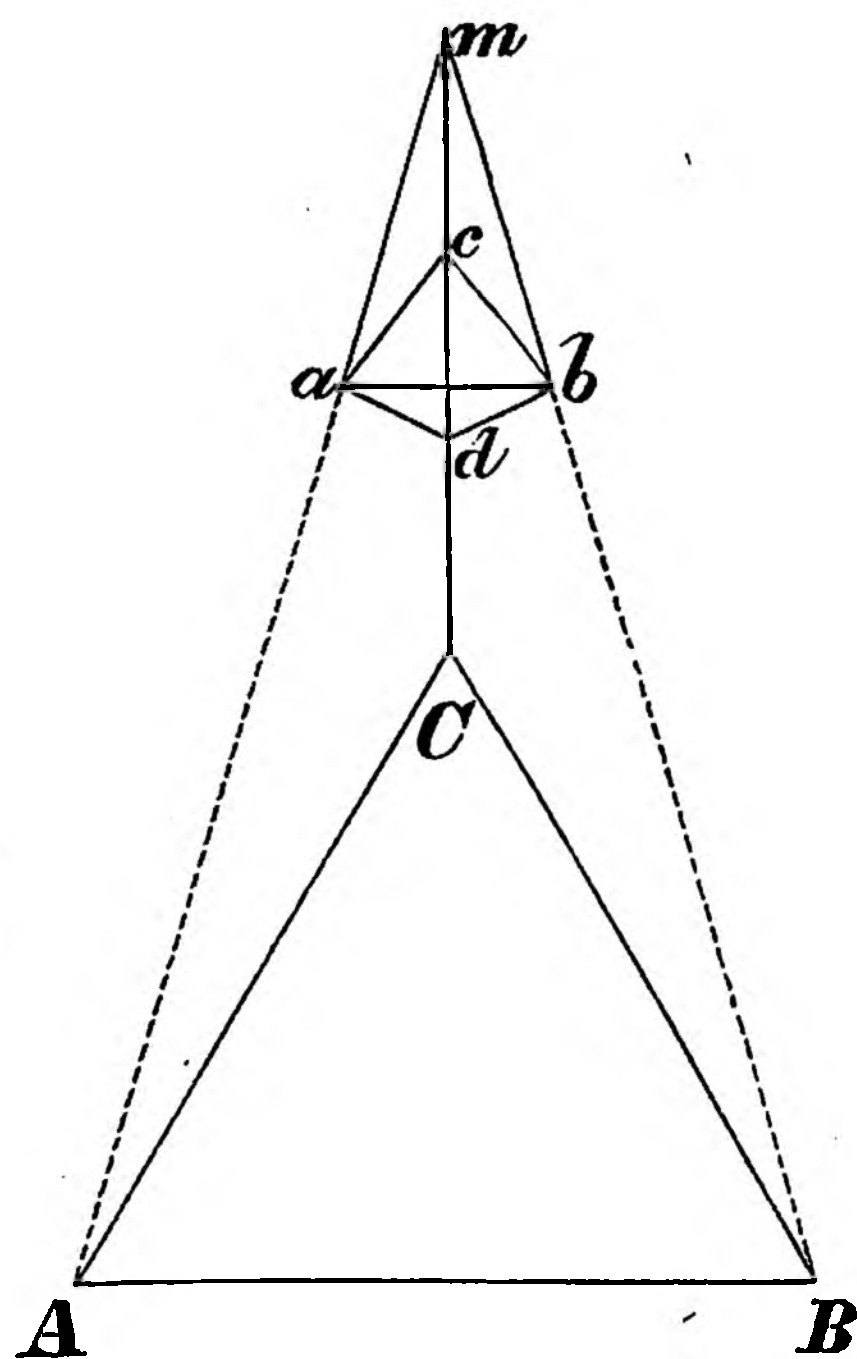


Примѣненіе этой теоріи къ практикѣ будетъ такое: поставивъ мензулу въ опредѣляемой точкѣ, прикладываютъ ребро линейки визирнаго снаряда къ  $ba$  (черт. 343) и поворачиваніемъ доски визируютъ на  $A$ ; затѣмъ вращаютъ линейку около  $b$ , визируютъ на  $C$  и прочерчиваютъ линію, чѣмъ и опредѣлится на планшетѣ уголъ  $\alpha$ . Послѣ этого направивъ линію  $ab$  на  $B$  (черт. 344) и провизировавъ чрезъ  $a$  на  $C$ , прочерчивается линія, которая пересѣчетъ прежде прочерченную линію въ  $d$ .

Черт. 344.



Черт. 345.



Наконецъ приложивъ ребро къ  $d$  и  $c$ , прочерчиваютъ линію и направляютъ ее на  $C$  (черт. 345). Послѣ этого планшетъ будетъ ориентиро-

ванъ и для опредѣленія  $m$  останется только засѣчь линію  $dc$  визирова-  
ніемъ чрезъ  $a$  на  $A$ , а для повѣрки сдѣлать еще визированіе чрезъ  $b$   
на  $B$ , которое должно пройти чрезъ ту же точку  $m$ .

Слѣдуетъ добавить: что послѣ cadaго поворачиванія доски нужно  
закрѣплять соотвѣтственный винтъ мензулы, что при построеніи на  
планшетѣ угловъ  $\alpha$  и  $\beta$  доска устанавливается, если того требуетъ мас-  
штабъ, такъ, чтобы точки  $b$  и  $a$  были послѣдовательно надъ точкою  $M$   
мѣстности, и что получаемая при этомъ точка  $d$ , служащая для ориен-  
тированія мензулы, называется *вспомогательною*.

Изъ разсмотрѣнія этихъ двухъ случаевъ, принимая всегда точки  
 $A$ ,  $B$  и  $C$  соотвѣтственно за лѣвую, правую и среднюю, можно вы-  
вести слѣдующее правило опредѣленія четвертой точки по тремъ дан-  
нымъ по способу Боненбергера — Бесселя, справедливое и для всѣхъ  
остальныхъ случаевъ этого способа: *приложивъ ребро линейки визир-  
наго снаряда къ линіи, соединяющей лѣвую и правую точки на план-  
шетѣ, направляютъ эту линію вращеніемъ доски на лѣвую точку (при этомъ  
лѣвая точка планшета должна быть впереди правой), закрепляютъ  
доску, вращаютъ визирный снарядъ около правой точки, визируютъ на  
среднюю, прочерчиваютъ по ребру линію, обращаютъ визирный снарядъ  
на  $180^\circ$ , прикладываютъ его опять къ той же линіи, что и въ первый  
разъ, направляютъ ее вращеніемъ доски на правую точку, закрепляютъ  
доску, вращаютъ визирный снарядъ около лѣвой точки и визируя на  
среднюю засѣкаютъ вновь прочерченную линію, чрезъ что получится  
вспомогательная точка. Наконецъ приложивъ ребро линейки къ вспомо-  
гательной точкѣ и средней, прочерчиваютъ линію и визируютъ поворачиваніемъ  
планшета на среднюю точку; послѣ чего остается засѣчь  
последнюю линію визированіемъ чрезъ лѣвую точку на лѣвую мѣстности  
и повѣриться визированіемъ чрезъ правую на правую.*

б) *Способъ Грунерта*. Разсмотримъ тѣ же случаи: когда опредѣляе-  
мая точка лежитъ между продолженными сторонами одного изъ угловъ  
даннаго треугольника и когда она лежитъ внутри этого треугольника;  
остальные же случаи рѣшаются аналогично съ этими. Пусть  $a$ ,  $c$  и  $b$   
(черт. 346) суть данныя на планшетѣ точки, а  $m$  есть точка опредѣ-  
ляемая. Допустимъ, какъ и прежде, что точка  $m$  найдена и опишемъ  
двѣ окружности: одну чрезъ  $m$ ,  $c$  и  $a$  и другую чрезъ  $m$ ,  $c$  и  $b$ . По-  
строимъ теперь на сторонѣ  $ac$  при точкѣ  $a$  уголъ  $\beta$  и полученную при этомъ  
линію продолжимъ до пересѣченія съ окружностью въ точкѣ  $d$  (которая,  
какъ увидимъ ниже, послужитъ для ориентированія планшета, а потому  
она есть *вспомогательная* точка); соединимъ  $d$  съ  $m$  и докажемъ, что  
линія  $dm$  есть прямая. Изъ четырехугольника  $dmca$ , какъ вписаннаго  
въ кругъ, имѣемъ

$$\text{уг. } dmc + \text{уг. } dac = 180^\circ,$$

но

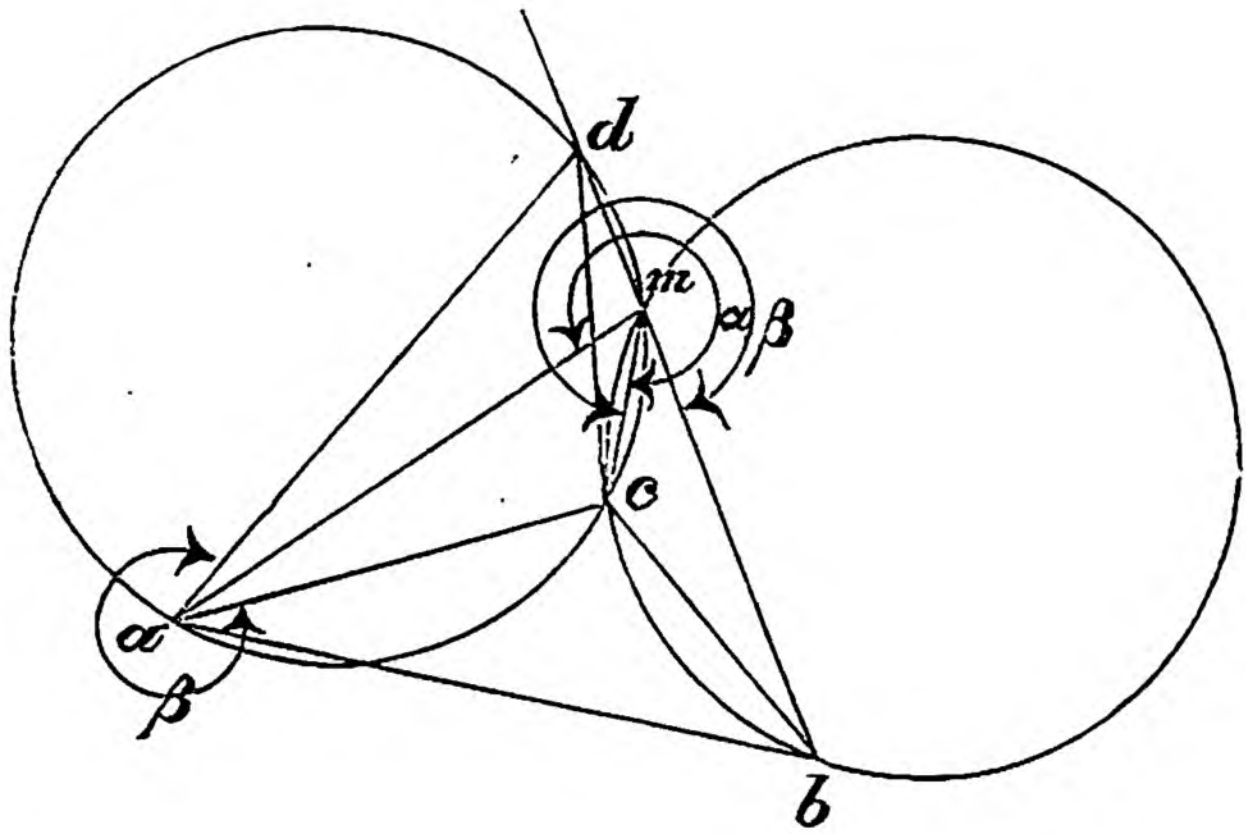
$$\text{уг. } dac = 360^\circ - \beta = \text{уг. } cmb,$$

поэтому

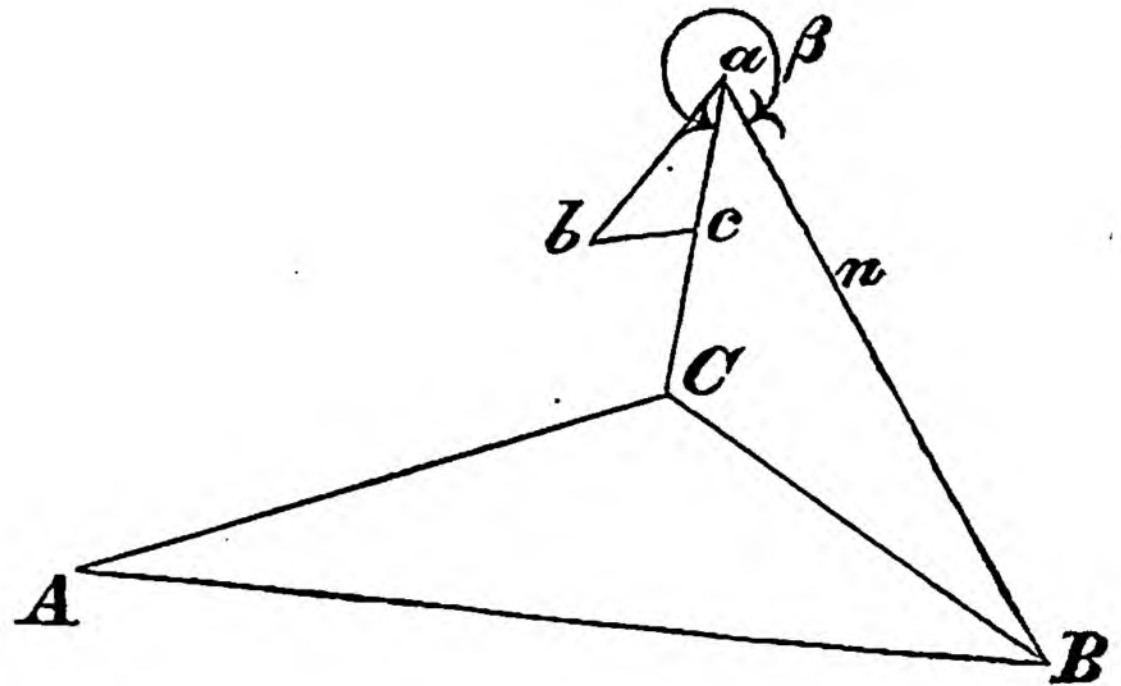
$$\text{уг. } dmc + \text{уг. } cmb = 180^\circ;$$

а это можетъ быть только тогда, когда линия  $dmb$  есть прямая. Кроме того изъ чертежа видно, что  $\text{уг. } adc = \text{уг. } cta = 360^\circ - \alpha$ ; вслѣдствіе чего  $360^\circ - \text{уг. } mda = \alpha$ . Изъ этой теоріи имѣемъ, что для опредѣленія положенія точки  $m$  нужно на линіи  $ac$  при точкѣ  $a$  построить уголъ  $\beta$  и засѣчь вновь полученную линію подъ угломъ  $\alpha$ ; этимъ опредѣлится точка  $d$ , а слѣдов. и линія  $db$ , на которой лежитъ искомая точка  $m$ .

Черт. 346.

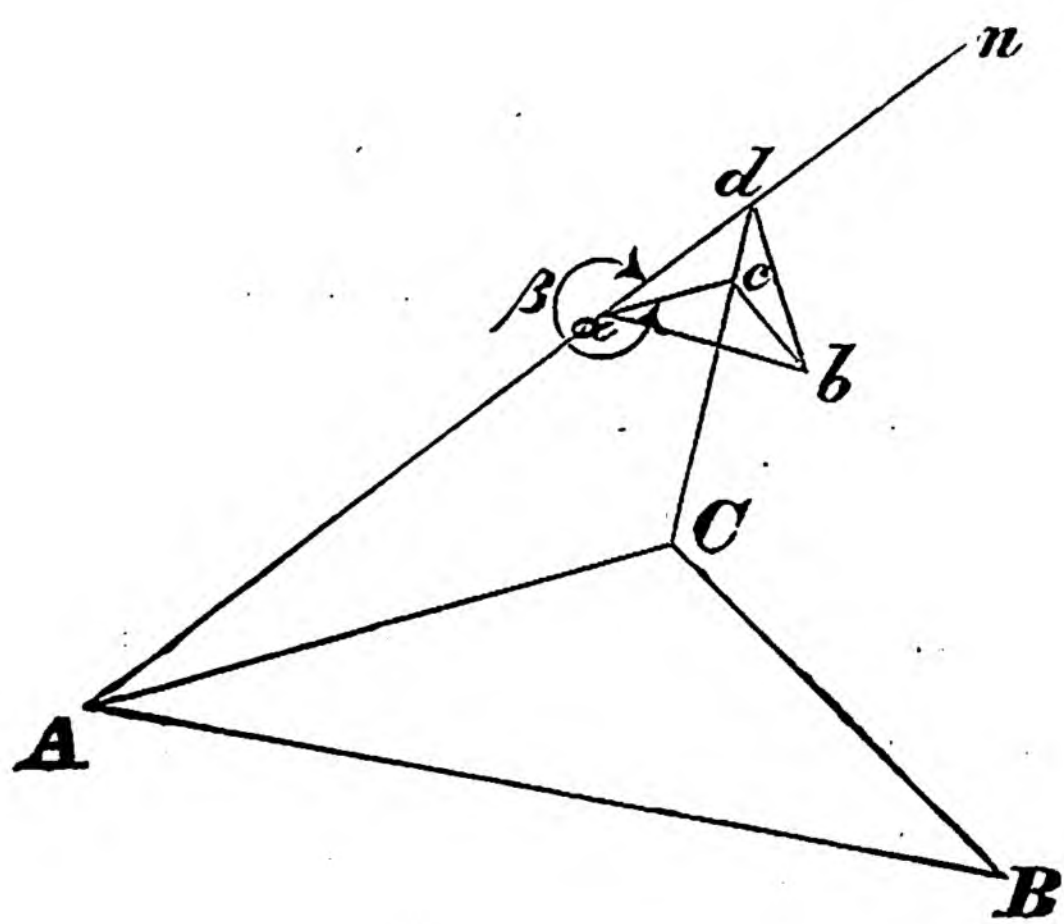


Черт. 347.

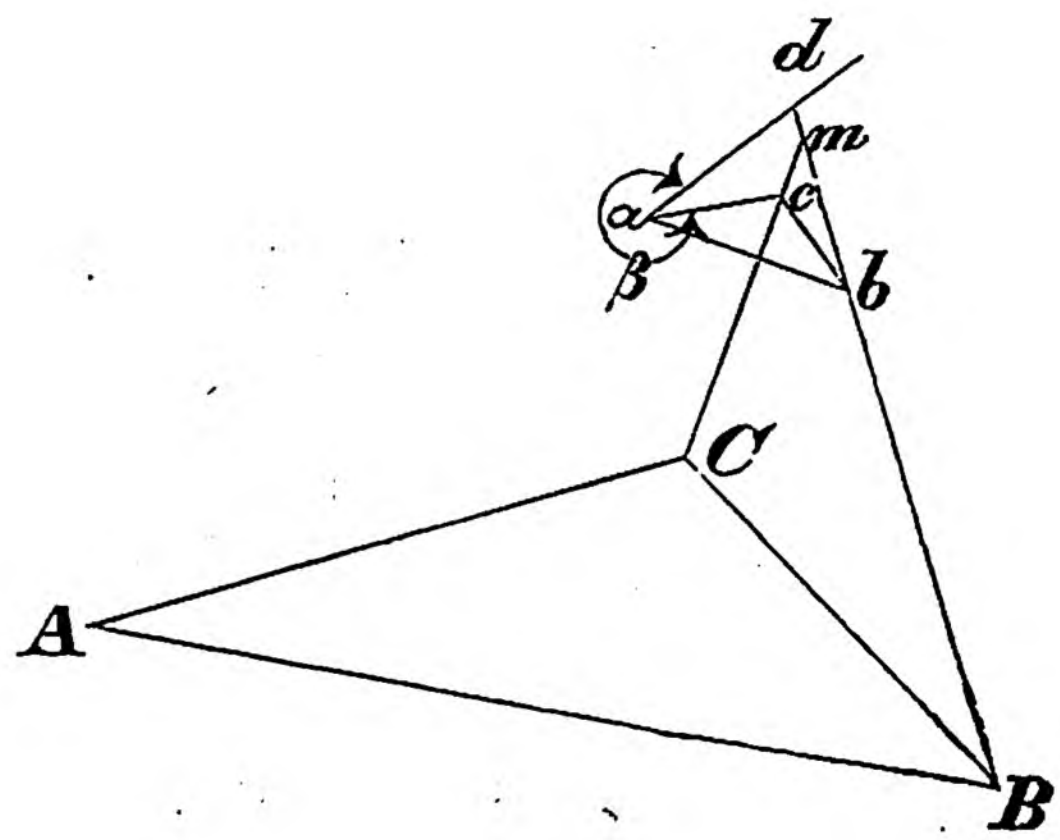


Примѣненіе теоріи къ практикѣ состоитъ въ слѣдующемъ: ставятся съ мензулою въ опредѣляемую точку, прикладываютъ ребро линейки къ линіи  $ac$  (черт. 347), поворачиваютъ доску на  $C$ , закрѣпляютъ ее, вращеніемъ линейки визирнаго снаряда около  $a$  направляютъ его коллимаціонную плоскость на  $B$  и по ребру прочерчиваютъ линію  $an$ , чрезъ что на планшетѣ будетъ построенъ уголъ  $\beta$ . Затѣмъ обращаютъ визирный снарядъ на  $180^\circ$ , прикладываютъ его къ вновь прочерченной линіи  $an$ , поворачиваютъ доску на  $A$  (черт. 348), ослабивъ

Черт. 348.



Черт. 349.



предварительно соотвѣтственный винтъ мензулы, закрѣпляютъ этотъ винтъ и вращеніемъ около  $c$  направляютъ коллимаціонную плоскость на  $C$ , чрезъ что и опредѣлится вспомогательная точка  $d$ . Наконецъ если приложимъ линейку къ  $d$  и  $b$  и повернемъ доску на  $B$ , то мензула будетъ ориентирована. Остается для опредѣленія  $m$  засѣчь линію  $db$  визирова-ніемъ чрезъ  $c$  на  $C$  и для повѣрки работы провизировать чрезъ  $a$  на  $A$  (черт. 349).

Теорія того случая, когда искомая точка находится внутри даннаго треугольника, состоитъ въ слѣдующемъ: допустимъ что точка  $m$  (черт. 350) найдена и опишемъ двѣ окружности: одну, проходящую чрезъ  $m$ ,  $a$  и  $c$ ,

и другую — чрезъ  $m$ ,  $b$  и  $c$ . Построимъ теперь на линіи  $ac$  при точкѣ  $a$  уголъ  $\beta$  и продолжимъ линію  $an$  до пересѣченія съ окружностью въ вспомогательной точкѣ  $d$ ; соединимъ  $d$  съ  $m$  и докажемъ, что линія  $dm$  есть прямая. Такъ какъ линія  $pad$  есть прямая, то

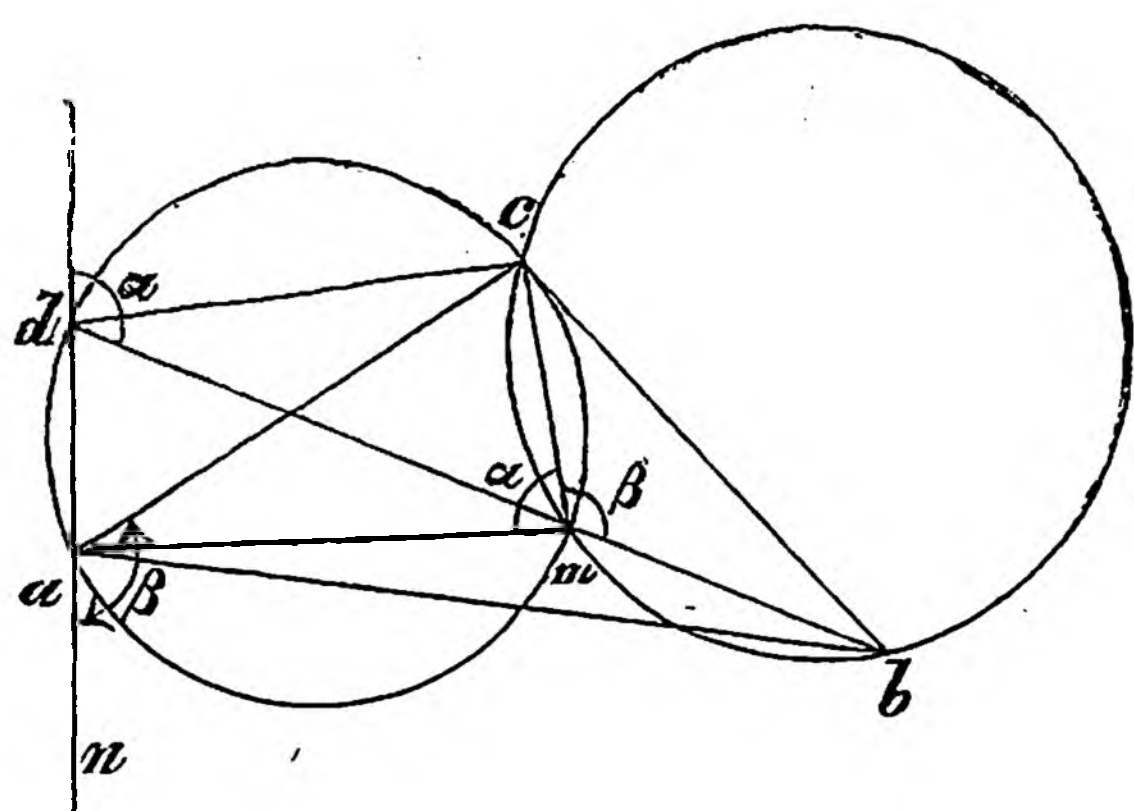
$$\text{уг. } can + \text{уг. } cad = 180^\circ;$$

но  $\text{уг. } cad = \text{уг. } dmc$ , какъ измѣряющіеся половиною одной и той же дуги  $dc$ , и  $\text{уг. } can = \beta = \text{уг. } cmb$ , поэтому

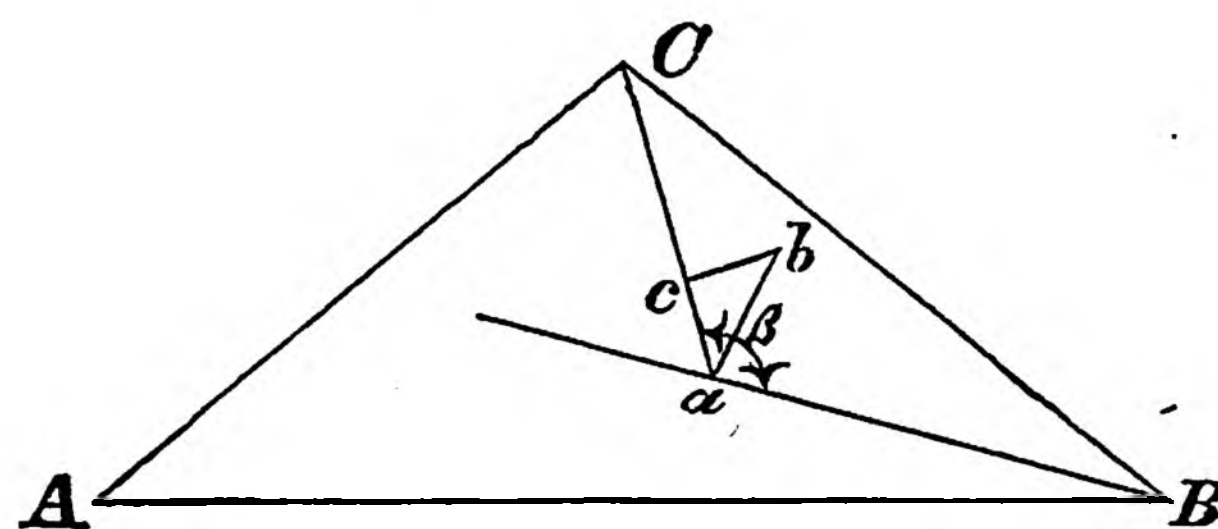
$$\text{уг. } cmb + \text{уг. } cmd = 180^\circ,$$

т. е. линія  $dm$  есть прямая.

Черт. 350.



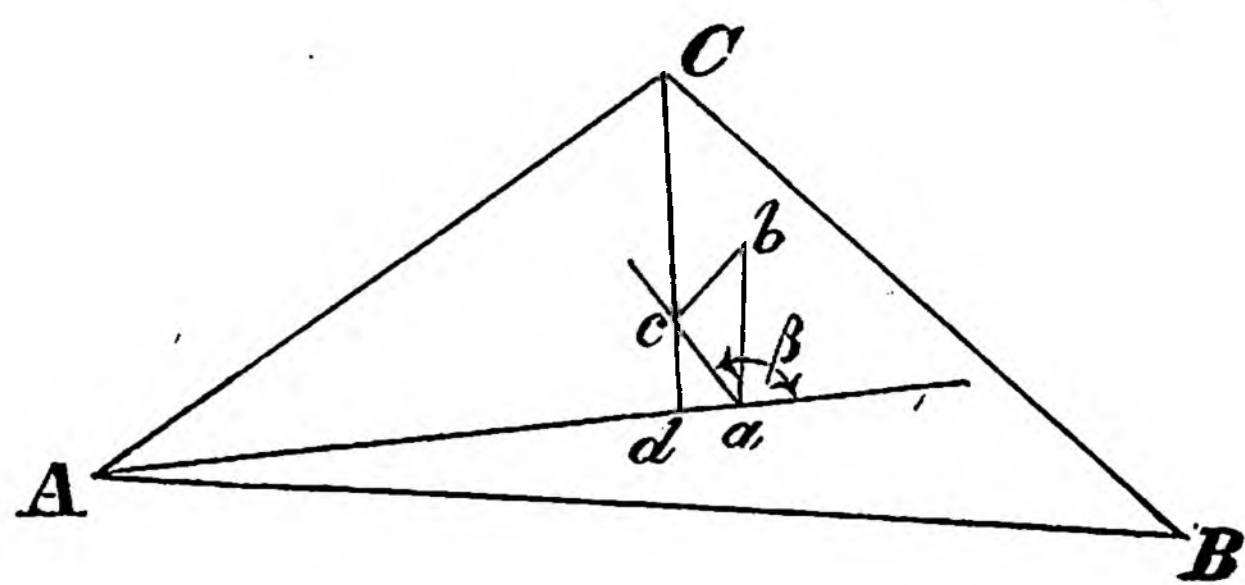
Черт. 351.



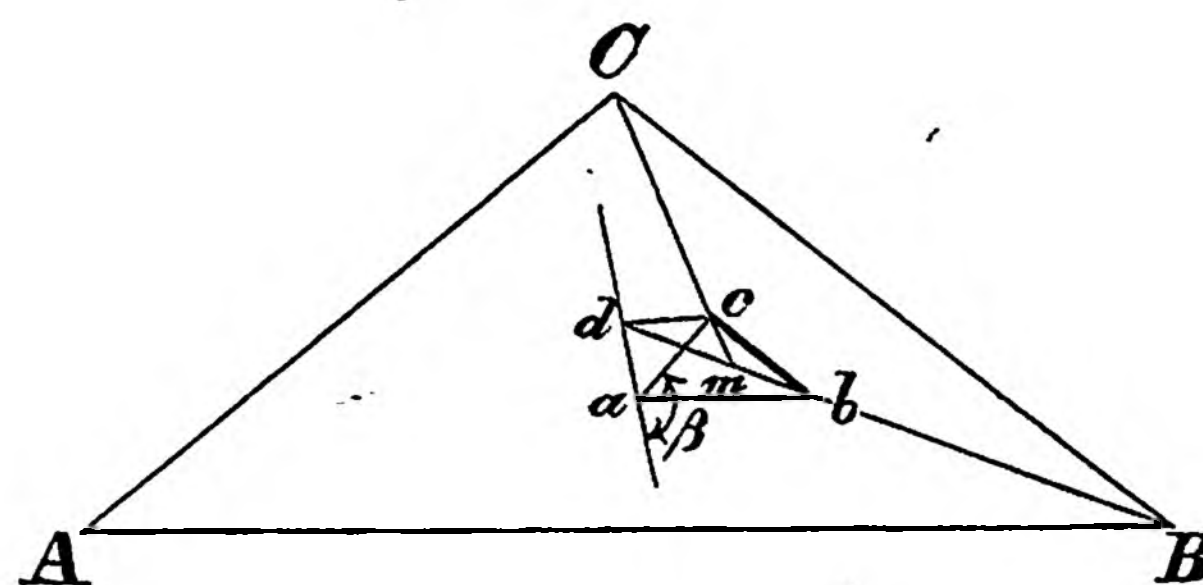
Примѣненіе этой теоріи къ практикѣ разъяснено на чертежахъ 351, 352 и 353.

Въ случаѣ если масштабъ съемки крупень, то передъ построениемъ на планшетѣ угловъ  $\beta$  и  $\alpha$  нужно точки  $a$  и  $d$  устанавливать послѣдовательно надъ точкою  $M$  мѣстности.

Черт. 352.



Черт. 353.



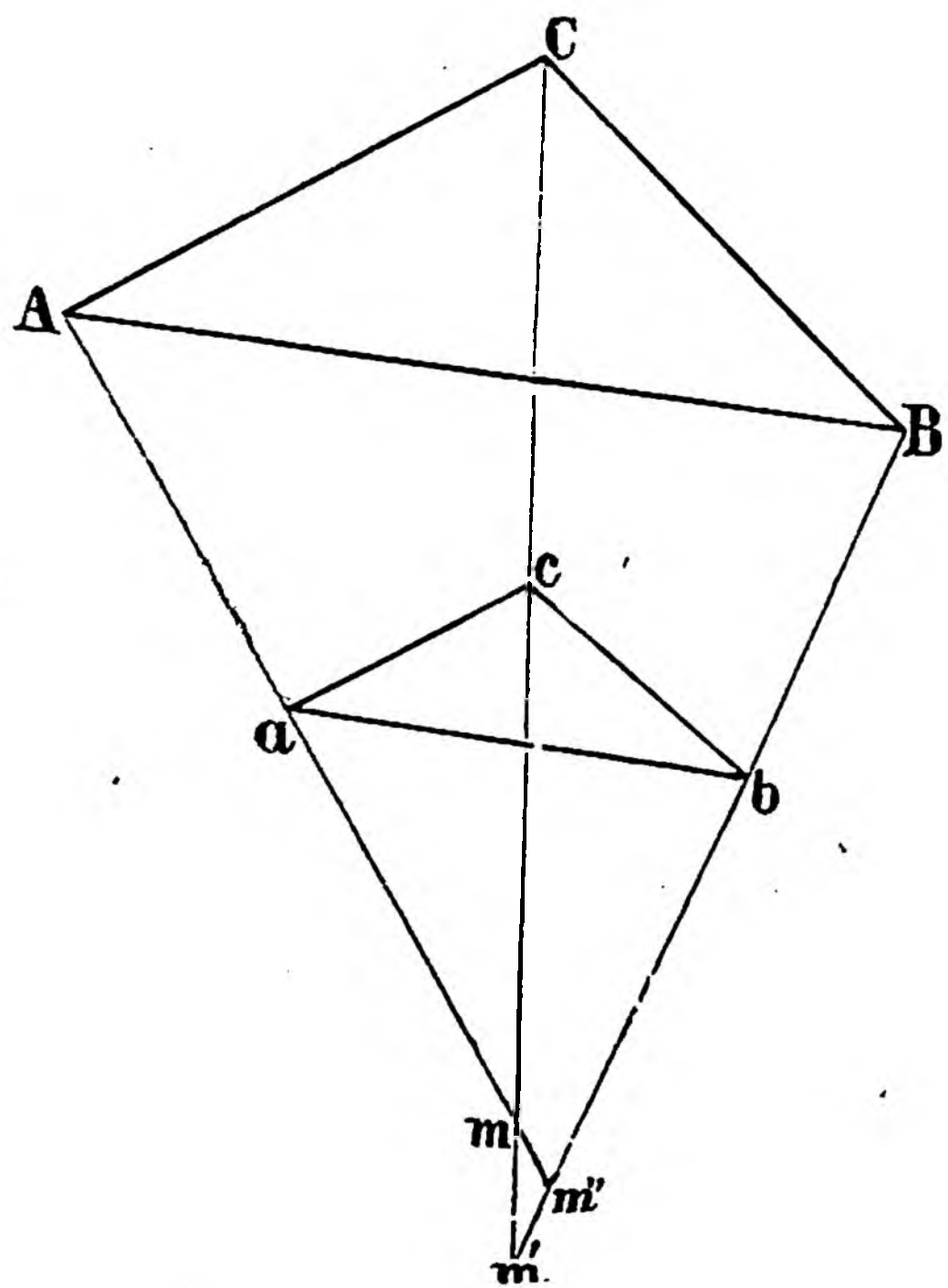
Придерживаясь опять того, что точки  $A$ ,  $B$  и  $C$  суть соответственно лѣвая, правая и средняя, получается слѣдующее правило для рѣшенія задачи по способу Грунерта: прикладываютъ линейку визирнаго снаряда къ лѣвой и средней точкѣ, вращеніемъ доски направляютъ коллимаціонную плоскость на среднюю точку (при этомъ средняя точка должна быть впереди лѣвой), закрѣпляютъ доску, вращеніемъ визирнаго снаряда около лѣвой точки визируютъ на правую, прочерчиваютъ по ребру линію, обращаютъ визирный снарядъ на  $180^\circ$ , прикладываютъ его къ вновь прочерченной линіи, вращеніемъ доски визируютъ на лѣвую точку, застѣкаютъ прочерченную вновь линію чрезъ среднюю точку на среднюю, чѣмъ и опредѣлится вспомогательная точка. Наконецъ приложивъ ребро линейки къ вспомогательной точкѣ

и правой, прочерчиваютъ эту линію и ориентируютъ доску на правую точку; послѣ чего остается засѣчь послѣднюю линію визированіемъ чрезъ среднюю на планшетъ точку на среднюю точку мѣстности и повѣриться визированіемъ чрезъ лѣвую на лѣвую.

§ 153. Рѣшенія непосредственныя. При разсмотрѣніи этихъ рѣшеній будемъ предполагать, что углы между направленіями на одни и тѣ же предметы мѣстности, построенные при различныхъ точкахъ планшета, между собою равны. Это допущеніе возможно, когда съёмка производится въ мелкомъ масштабѣ, не крупнѣе  $\frac{1}{8400}$ ; тѣмъ не менѣе рѣшенія, изложенныя въ послѣдующемъ, можно будетъ примѣнять на практикѣ, какъ увидимъ изъ теоріи, и при болѣе крупныхъ масштабахъ.

Передъ изложеніемъ рѣшеній Лемана и Боненбергера докажемъ теорему, что если мензула ориентирована въ опредѣляемой точкѣ, то линіи визированія чрезъ данныя на планшетъ точки на соотвѣтственныя точки мѣстности пересѣкаются въ одной точкѣ; и наоборотъ если тѣ же линіи пересѣкаются въ одной точкѣ, то мензула ориентирована. Пусть  $ABC$  (черт. 354) есть данный на мѣстности треугольникъ, а  $abc$  — соотвѣтственный ему на планшетѣ; при чемъ стороны этого послѣдняго параллельны соотвѣтственнымъ сторонамъ перваго треугольника. Для доказательства допустимъ, что линіи визированія чрезъ  $a$  на  $A$ , чрезъ  $c$  на  $C$  и чрезъ  $b$  на  $B$  пересѣкаются не въ одной, а въ двухъ различныхъ точкахъ  $t$  и  $t'$ . Изъ подобія

Черт. 354.



треугольниковъ  $ACt$  и  $act$  имѣемъ:

$$AC: ac = Ct: ct,$$

а изъ подобія треугольниковъ  $BCt'$  и  $bc t'$  имѣемъ:

$$BC: bc = Ct': ct'.$$

Кромѣ того изъ подобія треугольниковъ  $ABC$  и  $abc$  имѣемъ

$$AC: ac = BC: bc;$$

поэтому изъ двухъ первыхъ пропорцій слѣдуетъ, что

$$Ct: ct = Ct': ct'$$

или

$$(Ct - ct): ct = (Ct' - ct'): ct'$$

или

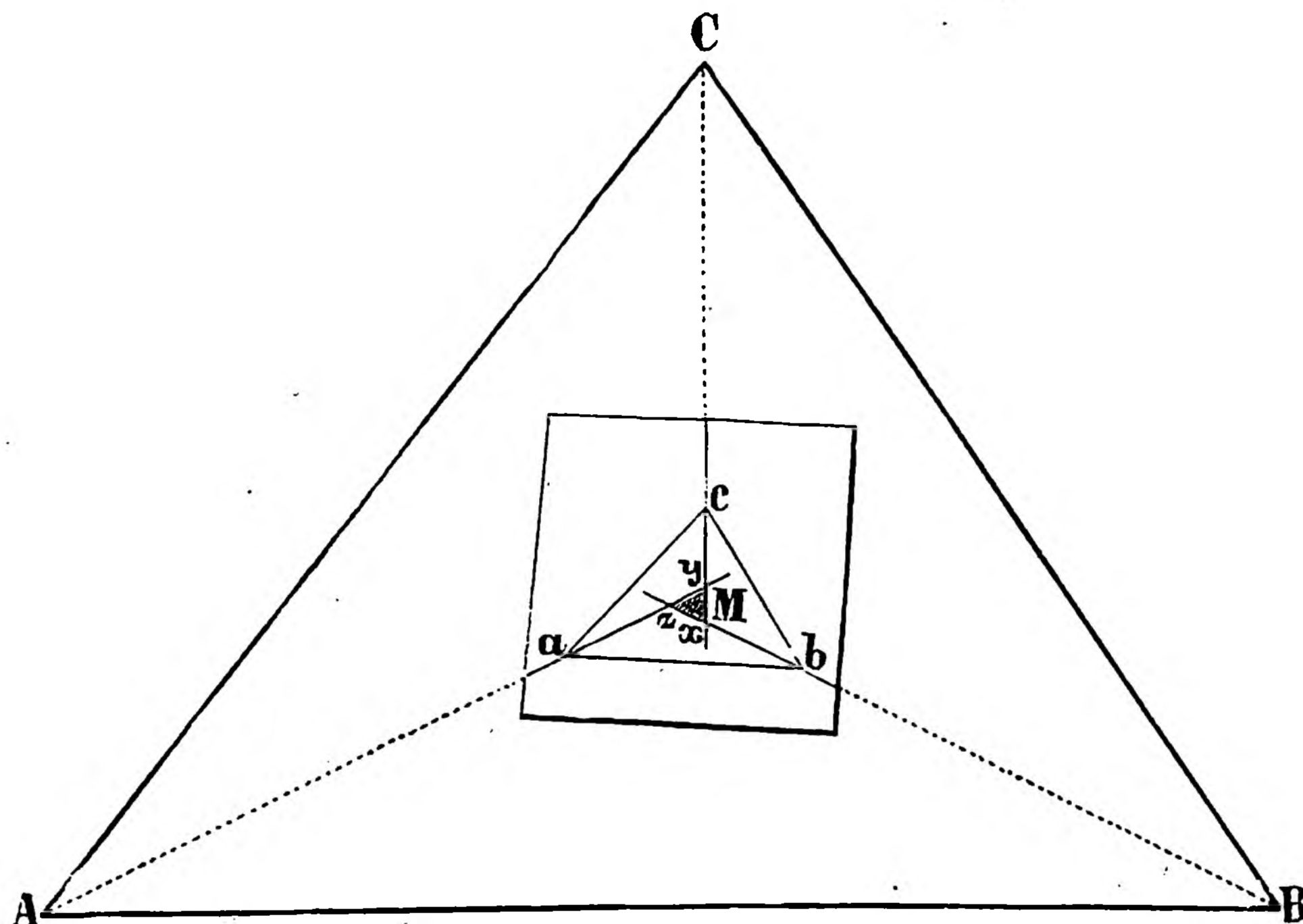
$$Cc: ct = Cc: ct';$$

слѣдов.  $st = st'$ , что возможно только при совмѣщеніи точекъ  $t$  и  $t'$ . Наоборотъ, точки  $t$  и  $t'$  будутъ совмѣщаться только тогда, когда стороны треугольниковъ  $ABC$  и  $abc$  будутъ соответственно между собою параллельны, т. е. когда мензула ориентирована, ибо предыдущія пропорціи справедливы только въ этомъ случаѣ.

Вслѣдствіе этой теоремы можно сказать, что если три линіи визировація  $Aa$ ,  $Cc$  и  $Bb$  пересѣкаются не въ одной точкѣ, а образуютъ при своемъ пересѣченіи треугольникъ  $tt't''$ , то мензула *не* ориентирована. Треугольникъ  $tt't''$  называется *треугольникомъ погрѣшностей*.

а) *Способъ Лемана*. Положимъ, что  $ABC$  (черт. 355) есть треугольникъ на мѣстности,  $abc$  соответствующій ему на планшетѣ и  $M$  — опредѣляемая точка, на которой стоитъ мензула. Положимъ затѣмъ, что доска ориентирована въ точкѣ  $M$  только приблизительно, т. е. что стороны  $ab$ ,  $bc$  и  $ca$  только приблизительно параллельны соответственнымъ

Черт. 355.



сторонамъ  $AB$ ,  $BC$  и  $CA$ ; тогда линіи визировація чрезъ  $a$  на  $A$ , чрезъ  $b$  на  $B$  и чрезъ  $c$  на  $C$  пересѣкутся не въ одной точкѣ, при чемъ на планшетѣ образуется небольшой треугольникъ погрѣшностей  $xuz$ . Вслѣдствіе допущенія, сдѣланнаго въ началѣ посредственныхъ рѣшеній, слѣдуетъ принять, что уголъ  $auc$  есть  $\alpha$ , а уголъ  $bxc$  есть  $\beta$ . Если линію визировація  $cx$  на средній предметъ  $C$  будемъ называть *среднею линіею визировація*, то искомая точка  $t$  на планшетѣ опредѣляется по полученному треугольнику погрѣшностей на основаніи слѣдующихъ положеній (черт. 356):

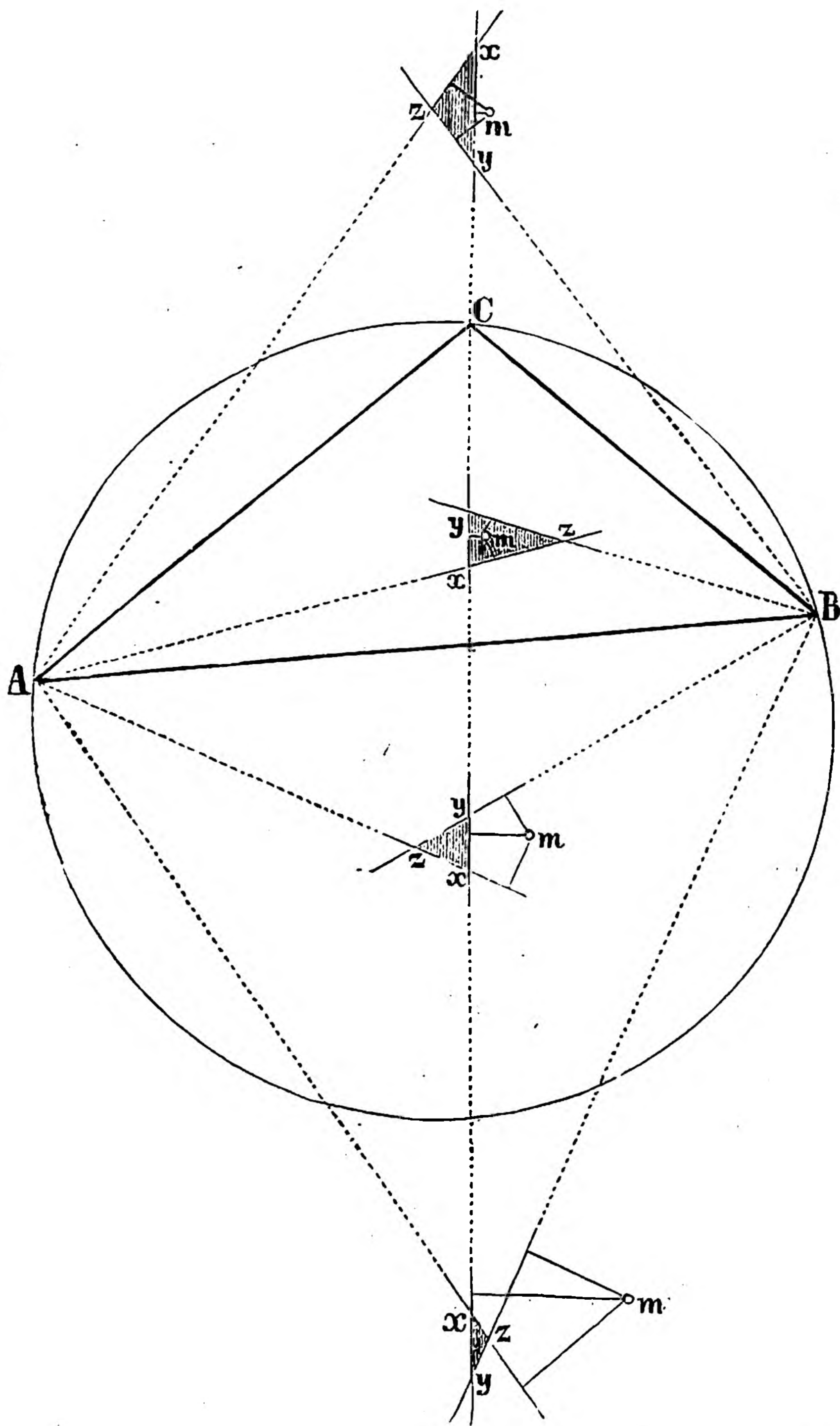
1) *искомая точка  $t$  лежитъ внутри треугольника погрѣшностей  $xuz$ , если точка стоянія съ мензулою лежитъ внутри даннаго треугольника  $ABC$ ;*

2) *искомая точка  $t$  лежитъ внѣ треугольника погрѣшностей  $xuz$ , если точка стоянія лежитъ внѣ треугольника  $ABC$ ; и при томъ а) по разнымъ сторонамъ средней линіи визировація съ треугольникомъ погрѣшностей, если точка стоянія лежитъ хотя и внѣ треугольника*

$ABC$ , но внутри круга, описанного около  $ABC$ , или между продолженными сторонами одного из угловъ этого треугольника, б) по одну сторону относительно средней линии визирования если точка стоянія лежитъ внѣ окружности, описанной около треугольника  $ABC$ , противъ одной изъ его сторонъ;

3) разстоянія искомой точки  $m$  отъ сторонъ треугольника погрѣшностей пропорціональны разстояніямъ ея отъ данныхъ точекъ  $a$ ,  $b$  и  $c$ .

Черт. 356.

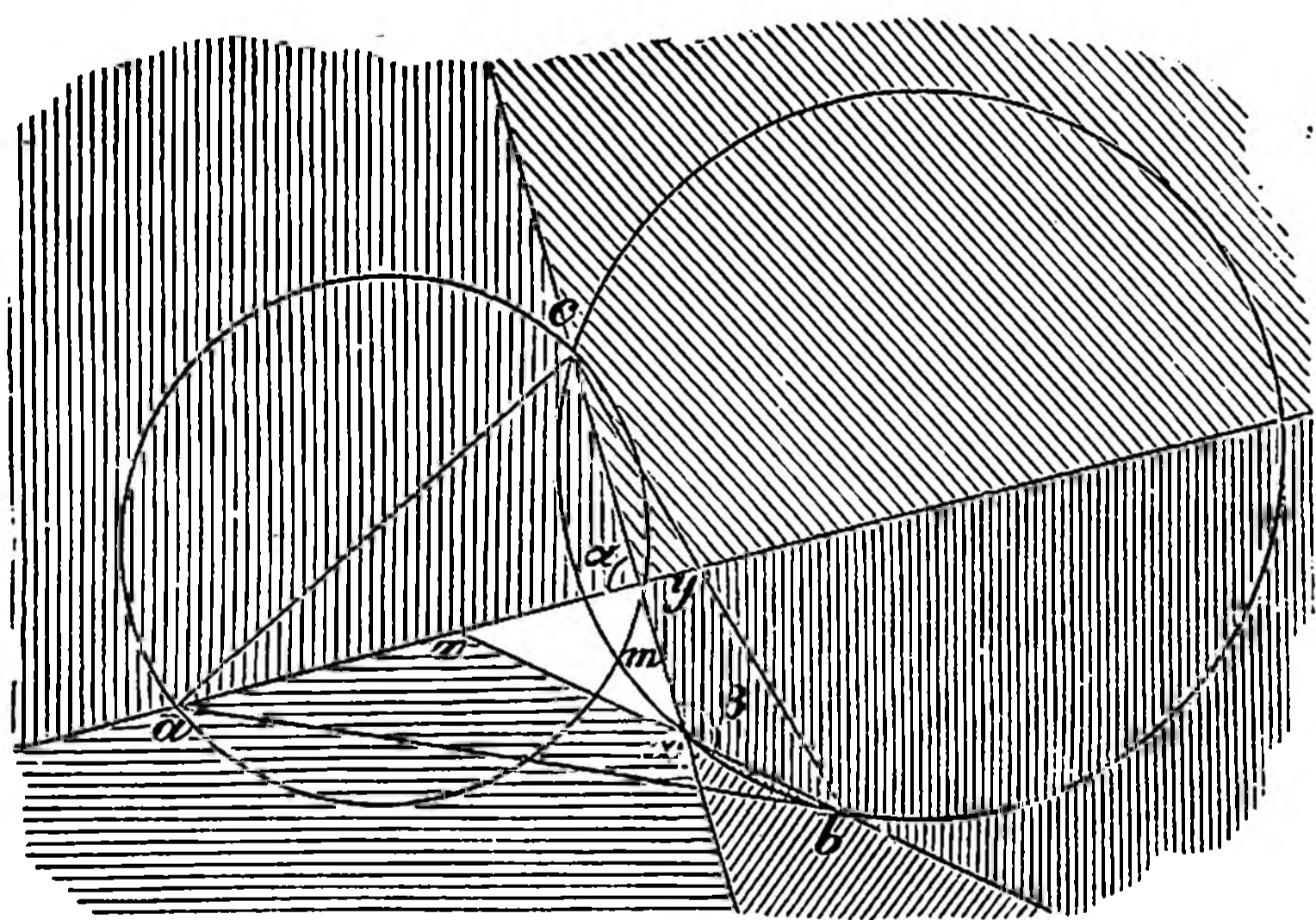


На основаніи предыдущихъ предложеній опредѣленіе точки дѣлается слѣдующимъ образомъ: установивъ мензулу въ опредѣляемой точкѣ надлежащимъ образомъ ориентируютъ планшетъ на-глазъ; чрезъ данныя на планшетѣ точки визируютъ на соотвѣтственныя точки мѣстности и прочерчиваютъ по ребру линейки линіи, которыя образуютъ треугольникъ погрѣшностей. Затѣмъ руководствуясь предложеніями Лемана, назначаютъ искомую точку на-глазъ; послѣ чего прикладываютъ ребро линейки къ этой назначенной точкѣ и къ той изъ данныхъ, которая наиболѣе удалена, и обращаютъ доску такъ, чтобы коллимаціонная пло-

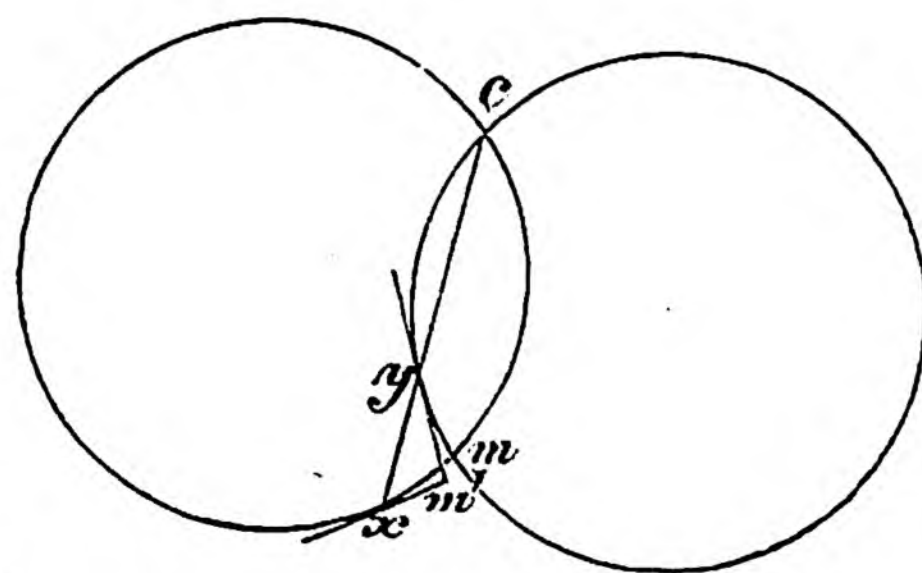
скость визирнаго снаряда проходила чрезъ послѣднюю точку мѣстности, и наконецъ визируютъ чрезъ двѣ другія на планшетѣ точки на соответственныя точки мѣстности: если линіи визированія пересѣкнутся въ одной точкѣ, то назначенная на планшетѣ точка вѣрна; въ противномъ случаѣ получится новый треугольникъ погрѣшностей, меньшій перваго, относительно котораго можно уже съ большею точностью назначить опять на-глазъ положеніе искомой точки. И такъ постепеннымъ приближеніемъ продолжаютъ далѣе до тѣхъ поръ, пока всѣ линіи визированія пересѣкнутся въ одной точкѣ.

Сначала предложенія Лемана были доказаны только построеніемъ, аналитическое же доказательство ихъ было дано впоследствии и состоитъ въ слѣдующемъ: если проведемъ чрезъ  $a$  и  $c$  (черт. 357) окружность, вмѣщающую уголъ  $\alpha$ , то она должна пройти чрезъ точку  $y$  треугольника погрѣшностей  $xuz$ ; точно также если опишемъ окружность чрезъ  $c$  и  $b$ , вмѣщающую уголъ  $\beta$ , то она должна пройти и чрезъ точку  $x$ . Такъ какъ при искомой точкѣ  $m$ , лежащей на пересѣченіи этихъ окружностей, должны образоваться углы  $\alpha$  и  $\beta$ , то она не можетъ лежать: ни внутри угла  $суа$ , ни между продолженіями его сторонъ, ни внутри угла  $схв$  и ни между продолженіями сторонъ этого послѣдняго. Если теперь, для наглядности, зачертимъ всѣ части, въ которыхъ искомая точка не можетъ лежать, то

Черт. 357.



Черт. 358.



останется не зачерченнымъ одинъ только треугольникъ  $xuz$ , внутри котораго и должна лежать искомая точка  $m$  или, все равно, пересѣченіе предыдущихъ окружностей.

Перейдемъ къ доказательству втораго предложенія; а для этого припомнимъ сначала слѣдующее изъ геометріи: если имѣемъ двѣ пересѣкающіяся окружности и чрезъ одну изъ точекъ ихъ пересѣченія  $c$  (черт. 358) проведемъ сѣкущую  $cx$  обѣихъ окружностей и наконецъ если въ точкахъ  $x$  и  $y$  пересѣченія проведемъ касательныя  $ym'$  и  $xm'$ , то точка  $m'$  пересѣченія ихъ лежитъ по одну сторону съ точкою  $m$  пересѣченія окружностей относительно сѣкущей  $cx$ . Вообразимъ теперь, что чрезъ точки  $a$  и  $c$  (черт. 359) проведена окружность, вмѣщающая уголъ  $\alpha$ ; затѣмъ вообразимъ другую окружность, проходящую чрезъ  $c$  и  $b$  и вмѣщающую уголъ  $\beta$ ; наконецъ вообразимъ, что треугольникъ погрѣшностей  $xuz$  лежитъ по другую сторону съ точкою  $m$  относительно средней линіи визированія.



Касательныя къ этимъ окружностямъ въ точкахъ  $x$  и  $y$  пересѣкаются въ точкѣ  $m'$ , которая на основаніи предыдущаго лежитъ по одну сторону съ точкою  $m$  относительно средней линіи визировація  $cy$ . Если обозначимъ уголъ  $асу$ , измѣряющійся половиною той же дуги, что и уголъ  $аyt$ , чрезъ  $\gamma$ , а уголъ  $хсв$ , измѣряющійся половиною той же дуги, что и уголъ  $bxm'$ , обозначимъ чрезъ  $\delta$ , то изъ чертежа имѣемъ

$$\beta + \delta + \alpha + \gamma > 180^\circ.$$

Слѣдов. если треугольникъ погрѣшностей  $хуз$  и искомая точка  $m$  лежатъ по разнымъ сторонамъ средней линіи визировація, то имѣемъ

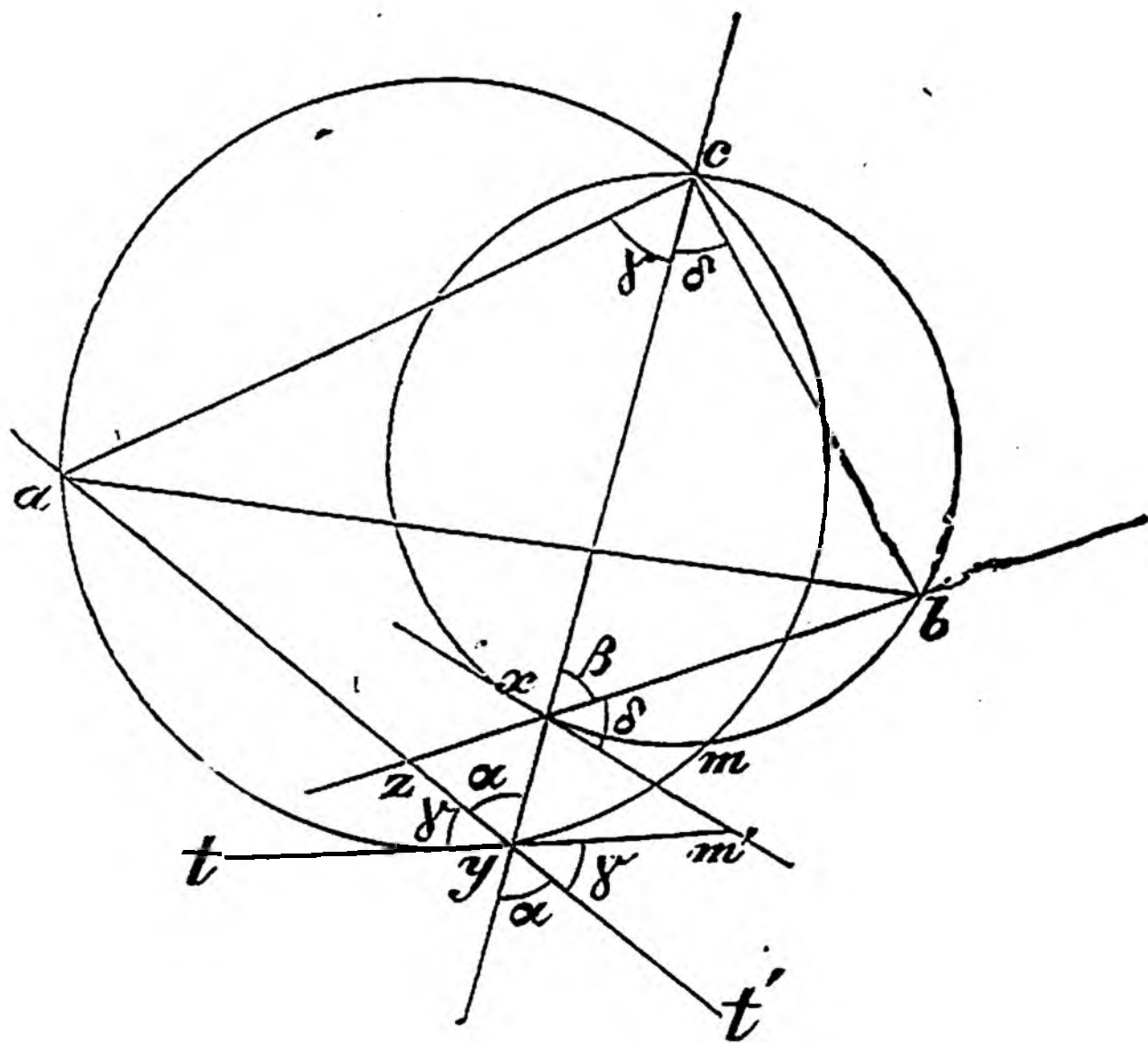
$$\alpha + \beta + \gamma + \delta > 180^\circ. \quad (1)$$

Точно также докажемъ, что если треугольникъ погрѣшностей  $хуз$  и искомая точка  $m$  лежатъ по одну сторону относительно средней линіи визировація, то будемъ имѣть неравенство

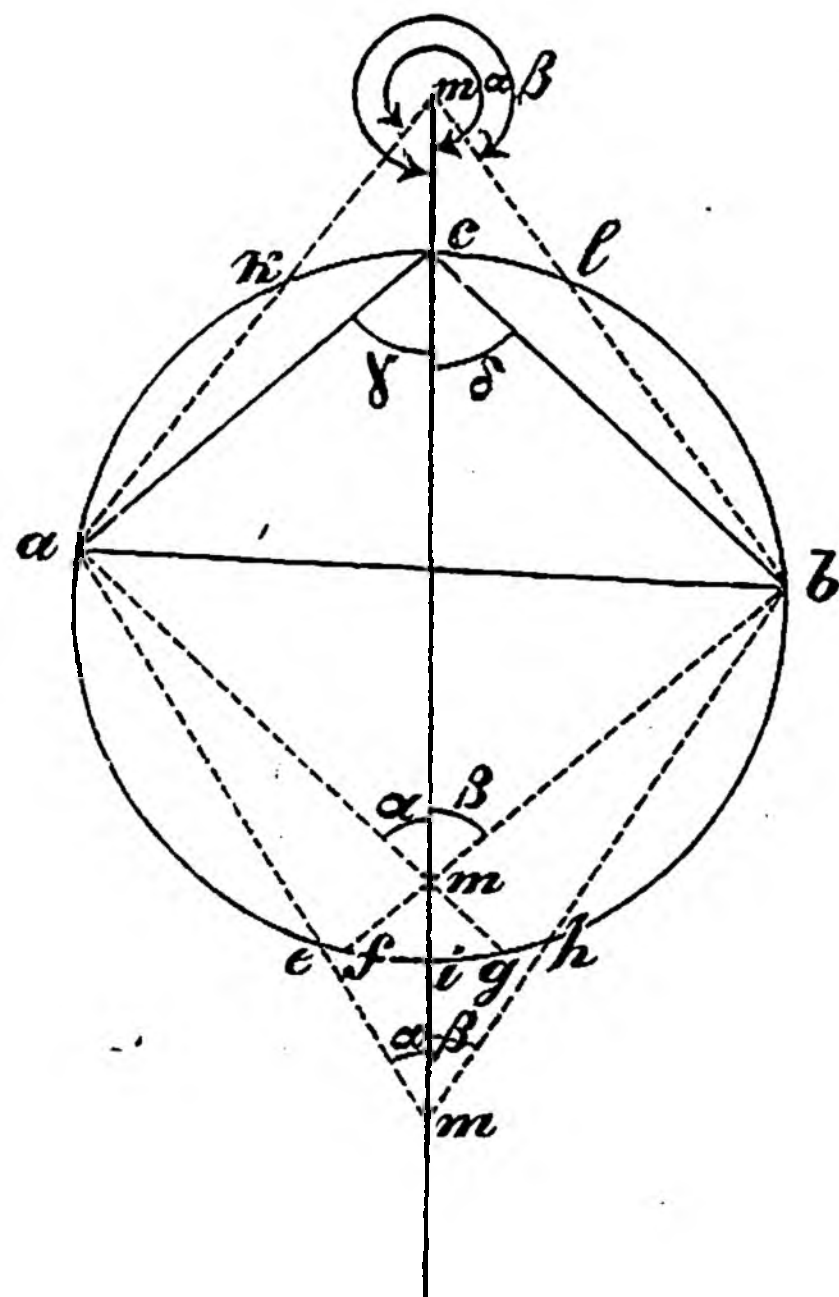
$$\alpha + \beta + \gamma + \delta < 180^\circ. \quad (2)$$

Посмотримъ теперь какому положенію искомой точки  $m$  относительно

Черт. 359.



Черт. 360.



данныхъ  $a$ ,  $b$  и  $c$  соотвѣтствуетъ неравенство (1) и какому положенію ея соотвѣтствуетъ неравенство (2). Если точка  $m$  (черт. 360) лежитъ между треугольникомъ и окружностью, то уг.  $\alpha$  измѣряется полусуммою дугъ  $ac$  и  $ig$ , уг.  $\beta$  измѣряется полусуммою дугъ  $bc$  и  $fi$ , уг.  $\gamma$  измѣряется половиною дуги  $ai$  и уголъ  $\delta$  измѣряется половиною дуги  $bi$ ; а потому

$$\alpha + \beta + \gamma + \delta = \frac{1}{2} (ac + ig + bc + fi + ai + bi),$$

но

$$ac + bc + bi + ai = 360^\circ,$$

поэтому

$$\alpha + \beta + \gamma + \delta = 180^\circ + \frac{1}{2} (fi + ig);$$

слѣдов. если искомая точка лежитъ между треугольникомъ и окружностью, то

$$\alpha + \beta + \gamma + \delta > 180^\circ.$$

Если точка  $m$  лежитъ за окружностью, то по чертежу уг.  $\alpha = \frac{1}{2} (ac - ie)$ , уг.  $\beta = \frac{1}{2} (bc - hi)$ , уг.  $\gamma = \frac{1}{2} ai$  и уг.  $\delta = \frac{1}{2} bi$ ;

слѣдов.  $\alpha + \beta + \gamma + \delta = \frac{1}{2} (ac + bc + ai + bi - ie - ih)$

или

$$\alpha + \beta + \gamma + \delta = 180^\circ - \frac{1}{2} (ci + ih)$$

или

$$\alpha + \beta + \gamma + \delta < 180^\circ.$$

Наконецъ если точка  $m$  лежитъ между продолженными сторонами одного изъ угловъ, то

$$\text{уг. } \alpha = 360^\circ - \frac{1}{2} (ai - kc); \text{ уг. } \beta = 360^\circ - \frac{1}{2} (bi - lc),$$

$$\text{уг. } \gamma = \frac{1}{2} ai \text{ и уг. } \delta = \frac{1}{2} bi;$$

слѣдов.

$$\alpha + \beta + \gamma + \delta = 2 \times 360^\circ + \frac{1}{2} (kc + lc)$$

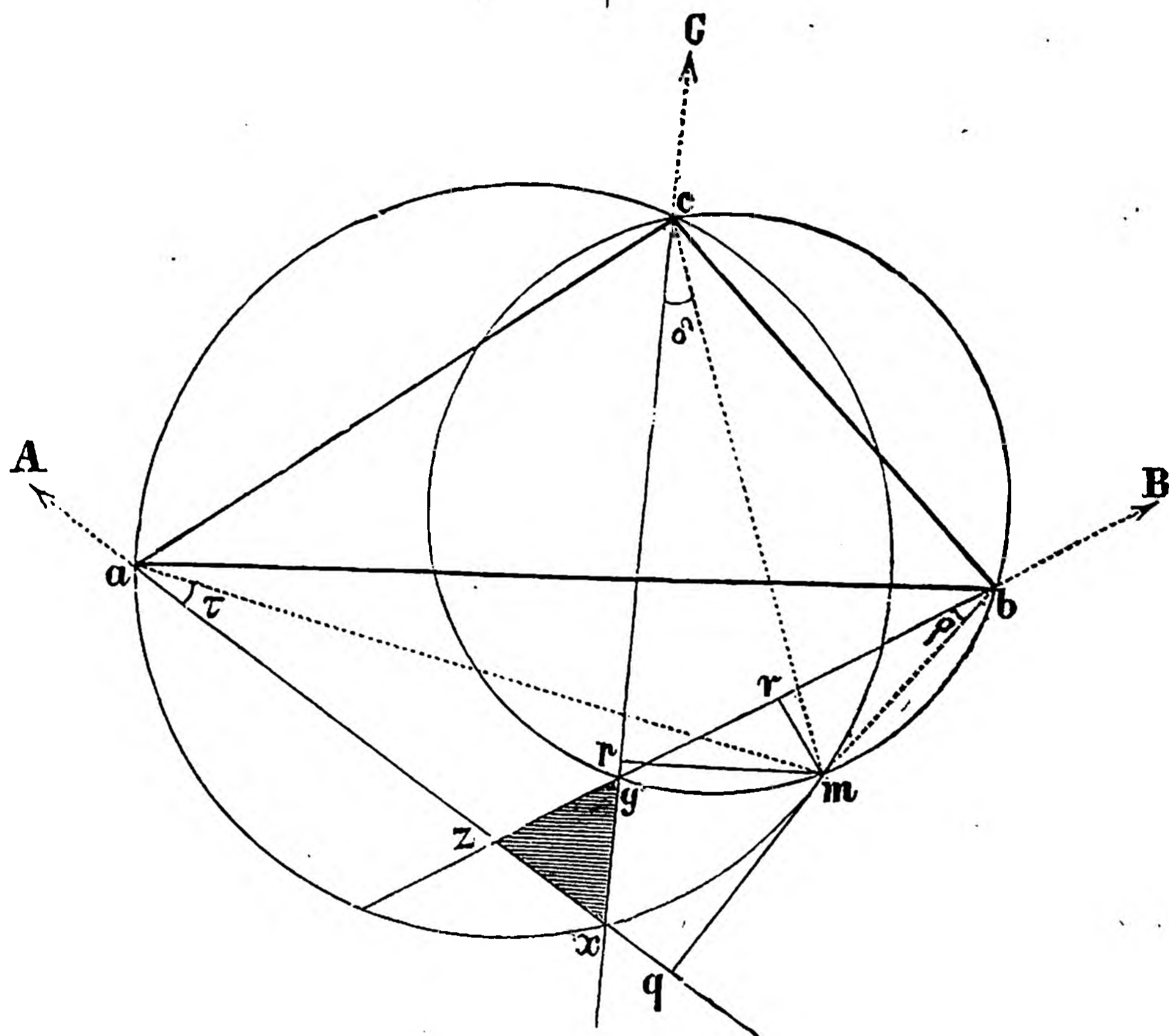
или

$$\alpha + \beta + \gamma + \delta > 180^\circ.$$

И такъ если искомая точка лежитъ между треугольникомъ и окружностью или между продолженными сторонами одного изъ угловъ даннаго треугольника, то треугольникъ погрѣшностей и искомая точка находятся по разнымъ сторонамъ средней линіи визировація; если же искомая точка лежитъ за окружностью, то она лежитъ вмѣстѣ съ тѣмъ по одну сторону съ треугольникомъ погрѣшностей относительно средней линіи визировація.

Для доказательства 3-го предположенія, что *разстоянія искомой точки отъ сторонъ треугольника погрѣшностей пропорціональны разстояніямъ ея отъ даннахъ точекъ*, вообразимъ что на продолженія сторонъ треугольника погрѣш-

Черт. 361.



ностей опущены изъ  $m$  перпендикуляры:  $mr$ ,  $mp$ ,  $mq$  (черт. 361); тогда изъ прямоугольныхъ треугольниковъ  $rbm$ ,  $pst$  и  $qam$  имѣемъ

$$mr = mb \cdot \sin p, \quad mp = mc \cdot \sin \delta \text{ и } mq = ma \cdot \sin \tau;$$

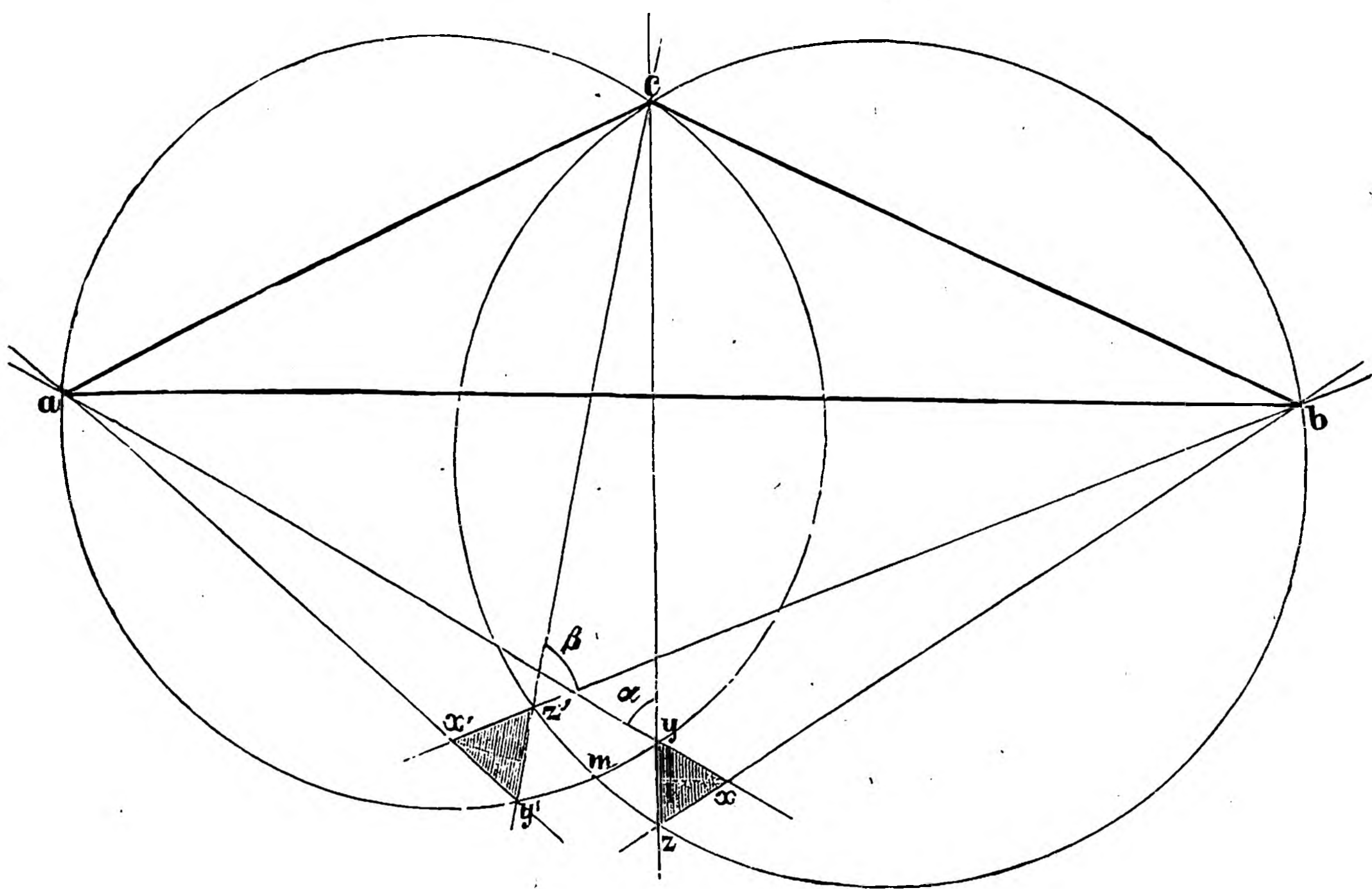
но  $p = \delta = \tau$ , какъ измѣряющіеся половинами одинаковыхъ дугъ, поэтому

$$mr : mp : mq := mb : mc : ma,$$

что и требовалось доказать.

б) *Способъ Боненбергера*. Способъ этотъ примѣнимъ тогда, когда для одного и того же случая имѣются два треугольника погрѣшностей. Онъ состоитъ въ слѣдующемъ: проведемъ окружность чрезъ  $a$ ,  $c$  (черт. 362) и вмѣщающую уголъ  $\alpha$ , а потому проходящую слѣдов. и чрезъ вершину  $y$  треугольника погрѣшностей  $xuz$ ; затѣмъ проведемъ окружность чрезъ  $c$ ,  $b$  и  $z$ , вмѣщающую слѣдов. уголъ  $\beta$ . Пересѣченіе этихъ круговъ есть, какъ извѣстно, искомая точка  $m$ . Повернемъ теперь планшетъ микрометрическимъ винтомъ и, сдѣлавъ вновь визированіе чрезъ  $a$  на  $A$ , чрезъ  $b$  на  $B$  и чрезъ  $c$  на  $C$ , получимъ новый треугольникъ погрѣшностей  $x'y'z'$ ; при чемъ точки  $y$  и  $y'$ , при которыхъ образуется одинъ и

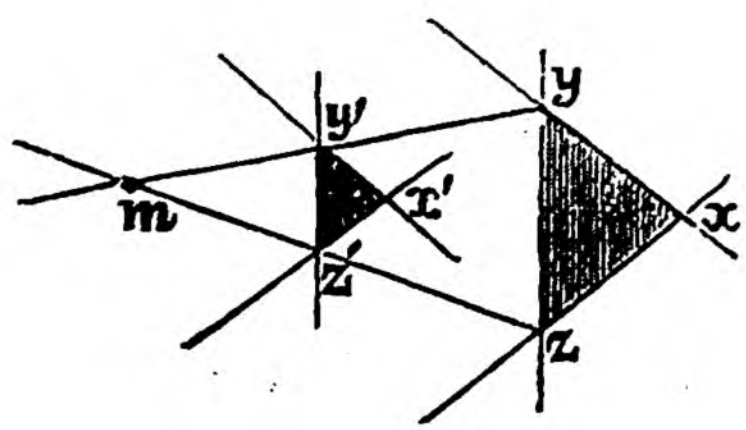
Черт. 362.



тотъ же уголъ  $\alpha$ , должны лежать на одной и той же окружности, проходящей чрезъ  $a$  и  $c$ , а точки  $x$  и  $x'$ , при которыхъ образуется уголъ  $\beta$ , должны лежать на окружности, проходящей чрезъ  $c$  и  $b$ .

Практическое примѣненіе этого способа состоитъ въ томъ, что получаютъ два треугольника погрѣшностей  $xuz$  и  $x'y'z'$ ; если они не велики, что можетъ быть при небольшомъ ихъ взаимномъ разстояніи на планшетѣ, то дуги  $y'm$  и  $z'm$  могутъ быть приняты за прямыя линіи; и потому соединивъ вершины одинаковыхъ угловъ этихъ двухъ

Черт. 363.



треугольниковъ прямыми линіями, получимъ въ пересѣченіи точку, весьма близко лежащую къ искомой, по которой ориентируютъ планшетъ и новыми визированіями провѣряютъ опредѣленіе точки.

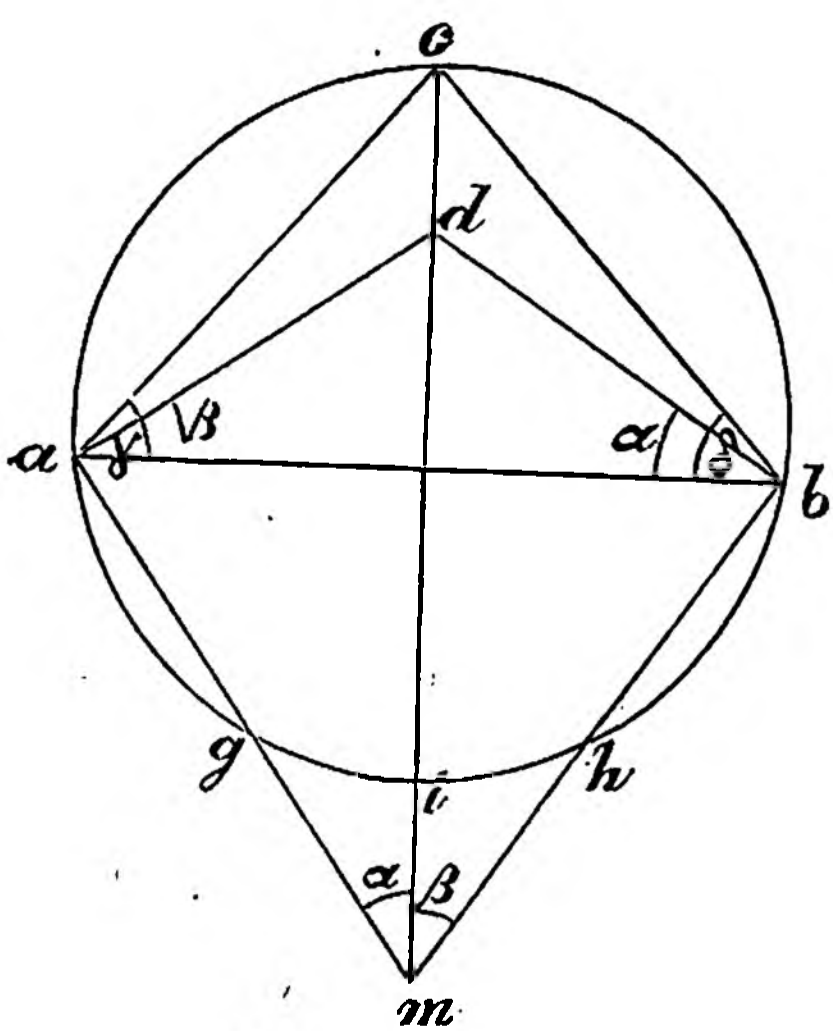
Послѣ поворота планшета треугольникъ погрѣшностей  $x'y'z'$  можетъ размѣститься такъ, какъ указано на чертежѣ 363, тогда проведеніе прямыхъ линій, показанное на этомъ чертежѣ, будетъ иное.

При рѣшеніи задачи по способамъ Лемана и Боненбергера полезно ориентировать планшетъ не на - глазъ, а по буссоли, приложивъ край ея къ проведенному по планшету въ началѣ съемки магнитному или географическому меридіану. Въ этомъ случаѣ треугольники погрѣшностей будутъ значительно меньше, почему и ускорится опредѣленіе точки.

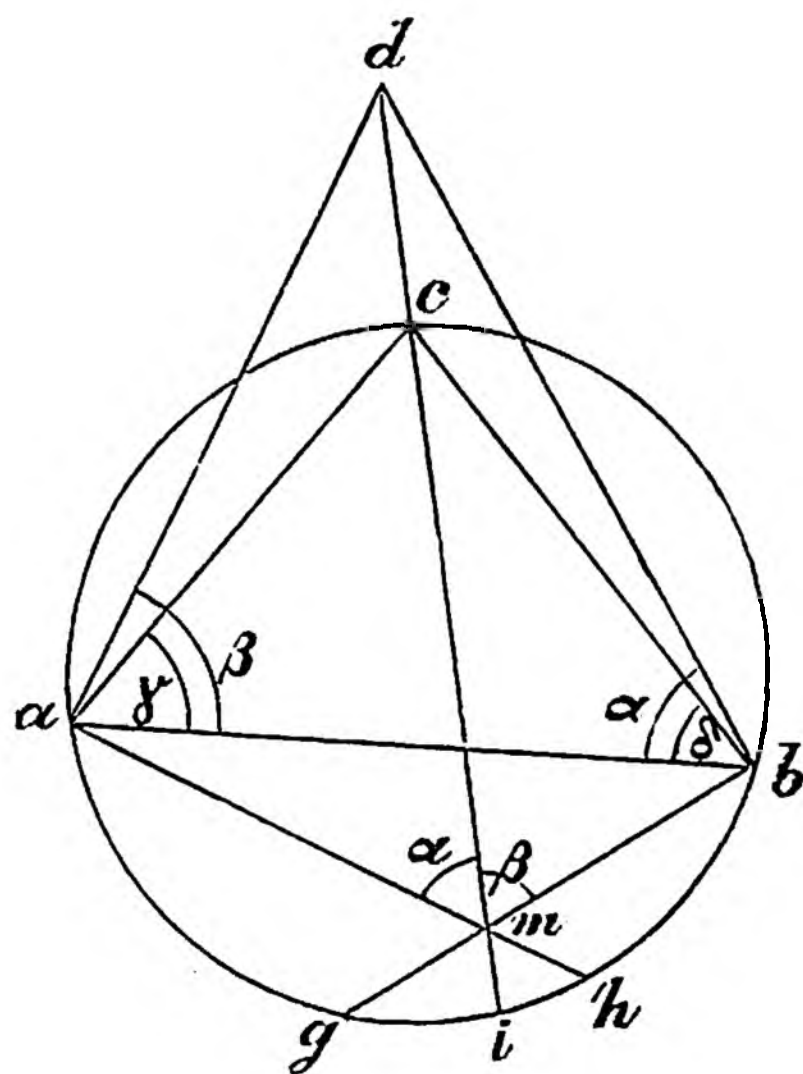
§ 154. Посмотримъ теперь какіе случаи разсмотрѣнной въ предыдущемъ задачи наиболее выгодны. Обратимся сначала къ непосредственнымъ способамъ рѣшенія. Такъ какъ въ нихъ опредѣляется впередъ вспомогательная точка, которая служитъ для ориентированія планшета, а точность ориентированія зависитъ, какъ мы видѣли (§ 148), отъ длины линіи на планшетѣ, къ которой прикладывается ребро линейки визирнаго снаряда, то доброкачественность опредѣленія точки въ непосредственныхъ способахъ обуславливается главнымъ образомъ длиною ориентировочной линіи — чѣмъ она длиннѣе, тѣмъ надежнѣе опредѣленіе точки и слѣдов. тѣмъ выгоднѣе разсматриваемый случай.

Въ способѣ Боненбергера - Бесселя въ случаѣ положенія искомой точки  $m$  за окружностью, проходящею чрезъ данныя точки  $a, b, c$  (черт. 364), углы  $\alpha$  и  $\beta$  соотвѣтственно менѣе угловъ  $\delta$  и  $\gamma$  (ибо уг.  $\alpha = \frac{1}{2}(ac - gi)$ , уг.  $\beta = \frac{1}{2}(bc - hi)$ , а уг.  $\delta = \frac{1}{2}ac$  и уг.  $\gamma = \frac{1}{2}bc$ ); а потому при построеніи ихъ при точкахъ  $b$  и  $a$  вверхъ линіи  $ab$  вспомогательная точка  $d$  можетъ получиться не вдалекѣ отъ  $c$ , когда ориентировочная линія будетъ коротка. Въ случаѣ когда точка  $m$  лежитъ

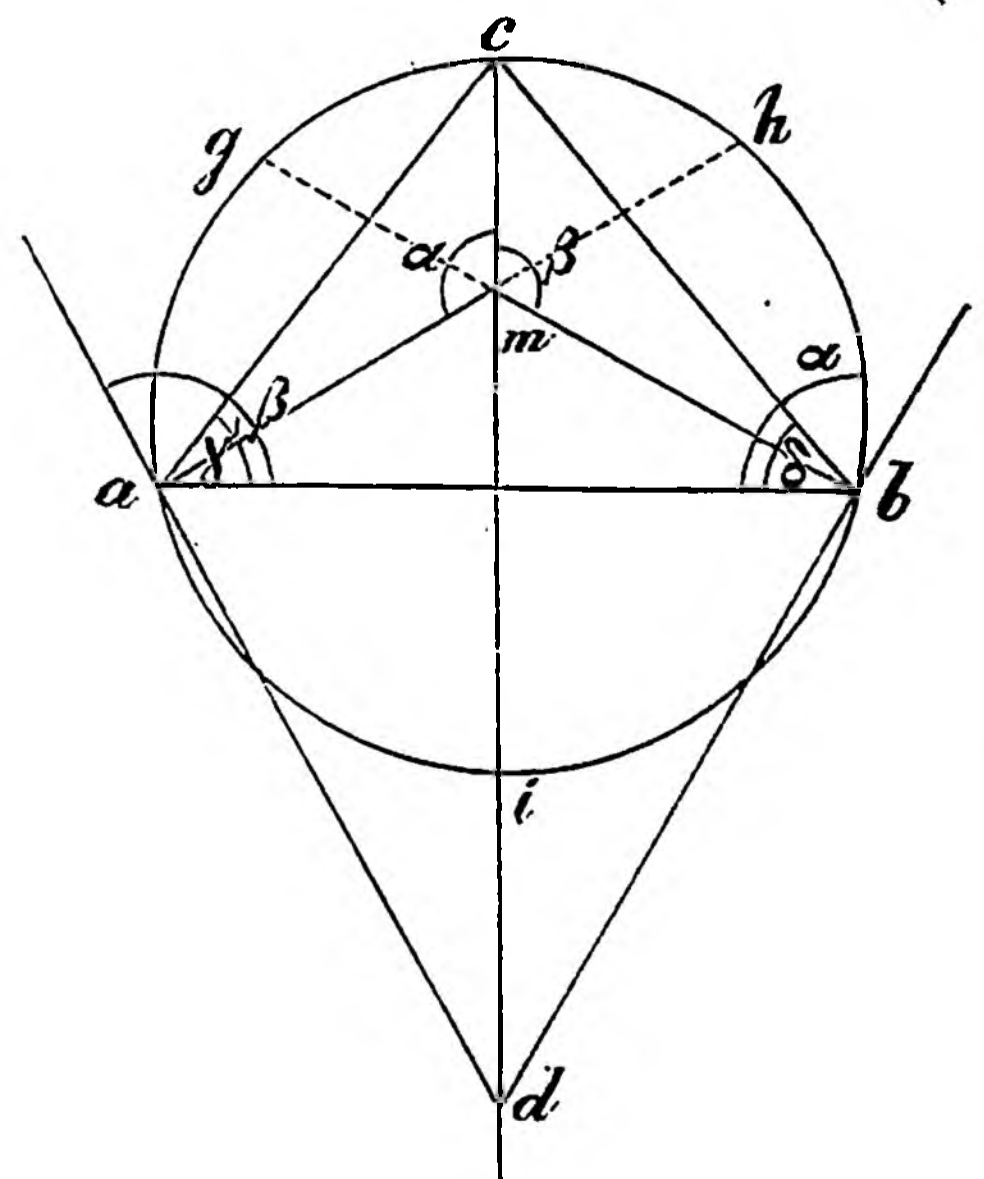
Черт. 364.



Черт. 365.



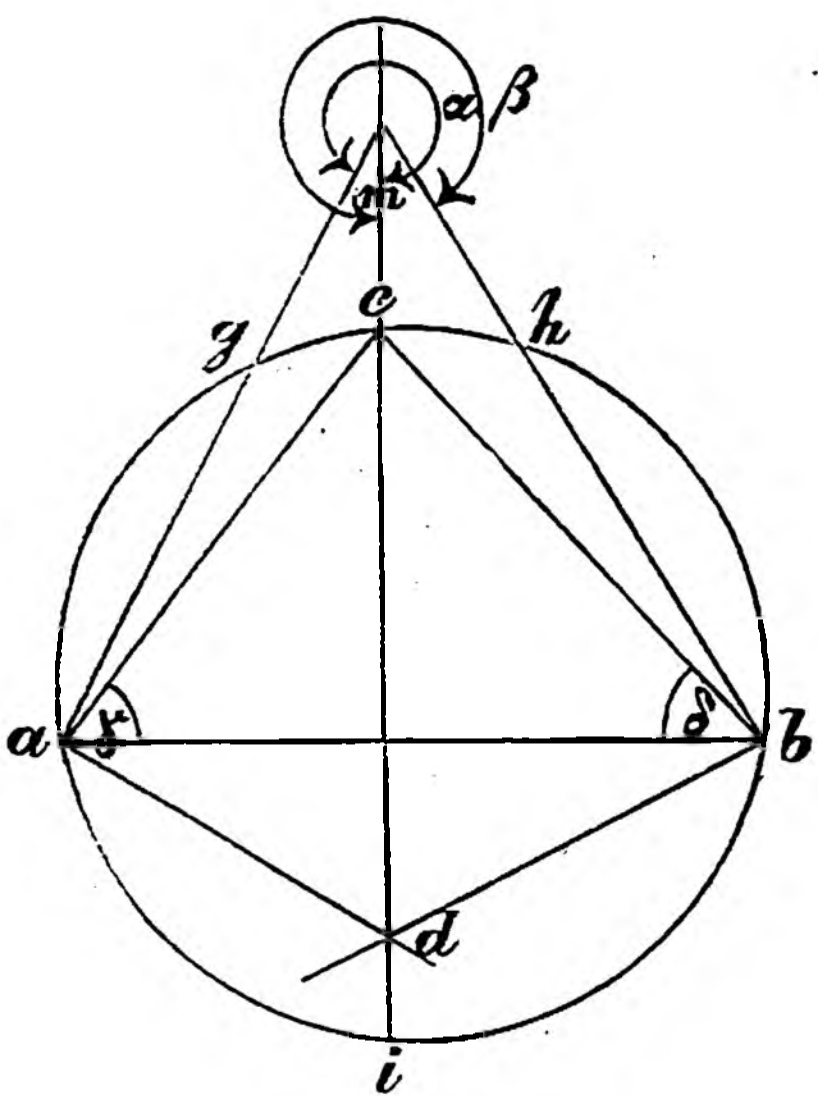
Черт. 366.



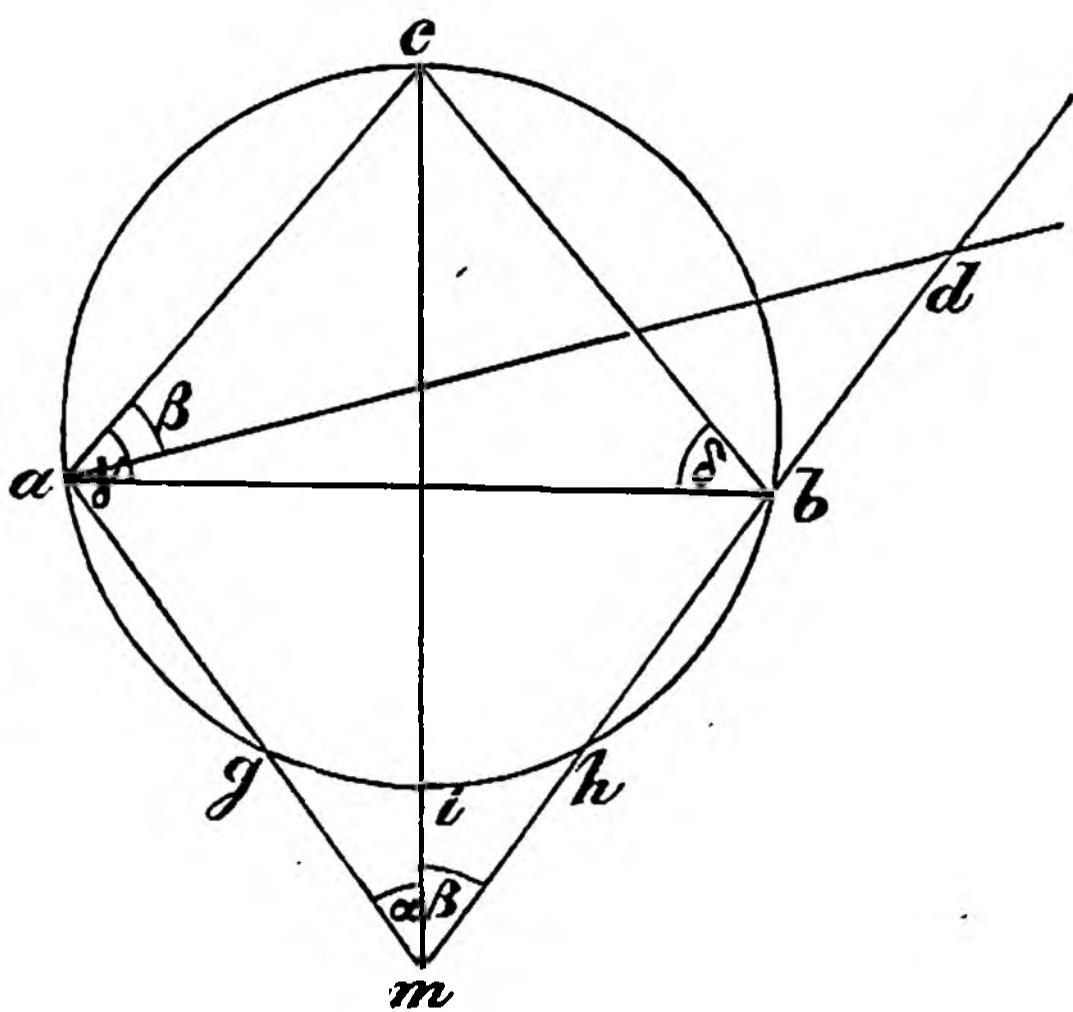
между треугольникомъ и окружностью (черт. 365) углы  $\alpha$  и  $\beta$  соотвѣтственно болѣе угловъ  $\delta$  и  $\gamma$  (ибо уг.  $\alpha = \frac{1}{2}(ac + ih)$ , уг.  $\beta = \frac{1}{2}(bc + gi)$ , а уг.  $\delta = \frac{1}{2}ac$  и уг.  $\gamma = \frac{1}{2}bc$ ); при чемъ такъ какъ  $\alpha + \beta < 180^\circ$ , ибо  $\alpha + \beta = \frac{1}{2}(ac + ih + bc + gi) = \frac{1}{2}(acb + hig)$  и  $acb + hig < 360^\circ$ , то при построеніи угловъ  $\alpha$  и  $\beta$  вспомогательная точка  $d$  упадетъ хотя выше точки  $c$ , но можетъ получиться вблизи ея, тогда ориентировочная линія  $cd$  опять будетъ коротка. Въ случаѣ когда  $m$  лежитъ внутри треугольника  $abc$  (черт. 366) уг.  $\alpha = \frac{1}{2}(ac + hi)$  и уг.  $\beta = \frac{1}{2}(bc + gi)$ , которые соотвѣтственно болѣе угловъ:  $\delta = \frac{1}{2}ac$  и  $\gamma = \frac{1}{2}bc$ ; и такъ какъ

при этомъ  $\alpha + \beta = \frac{1}{2} (acb + gih) > 180^\circ$ , то вспомогательная точка  $d$  должна лежать по другую сторону съ точкою  $c$  относительно линіи  $ab$  и ориентировочная линія  $cd$  не можетъ быть коротка. Наконецъ когда точка  $m$  лежитъ между продолженными сторонами угла  $acb$  (черт. 367) уг.  $\alpha = 360^\circ - \frac{1}{2} (ai - cg)$ , а уг.  $\beta = 360^\circ - \frac{1}{2} (bi - ch)$ , которые соотвѣтственно болѣе угловъ:  $\delta = \frac{1}{2} ac$  и  $\gamma = \frac{1}{2} bc$ ; при чемъ такъ какъ  $\alpha + \beta = 2 \times 360^\circ - \frac{1}{2} (aib - gch) > 180^\circ$ , то вспомогательная точка  $d$  опять лежитъ по другую сторону съ точкою  $c$  относительно линіи  $ab$ . Изъ этого видно, что въ способѣ Боненбергера - Бесселя выгоднѣйшіе случаи для опредѣленія положенія точки суть тѣ, когда она лежитъ или внутри даннаго треугольника, или между продолженными сторонами одного изъ его угловъ.

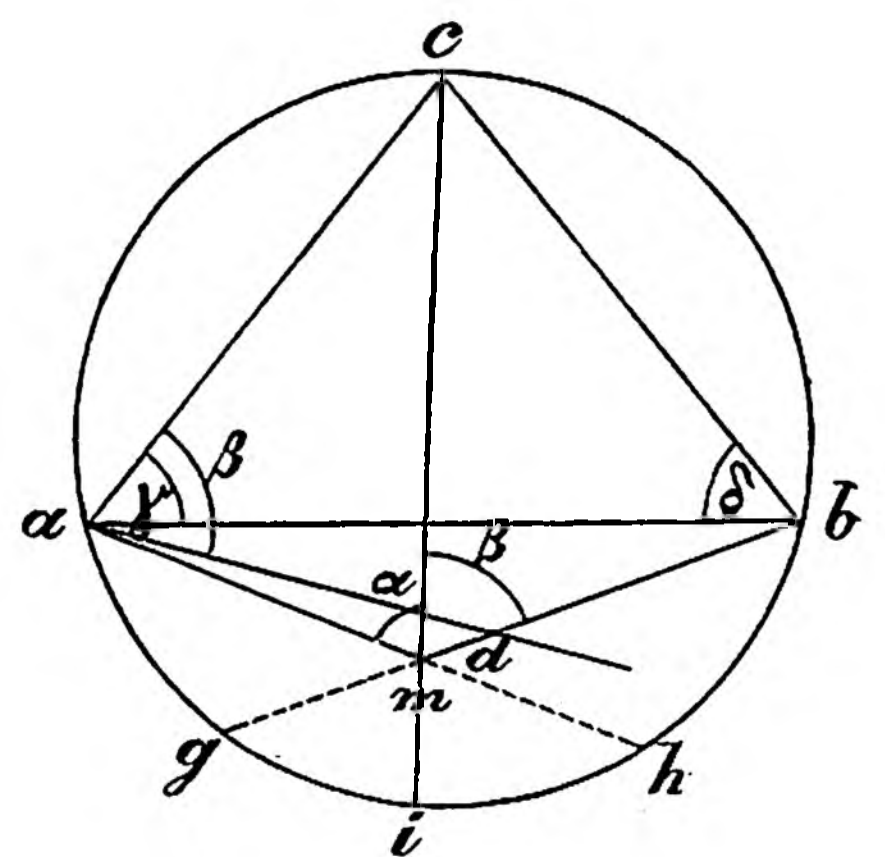
Черт. 367.



Черт. 368.

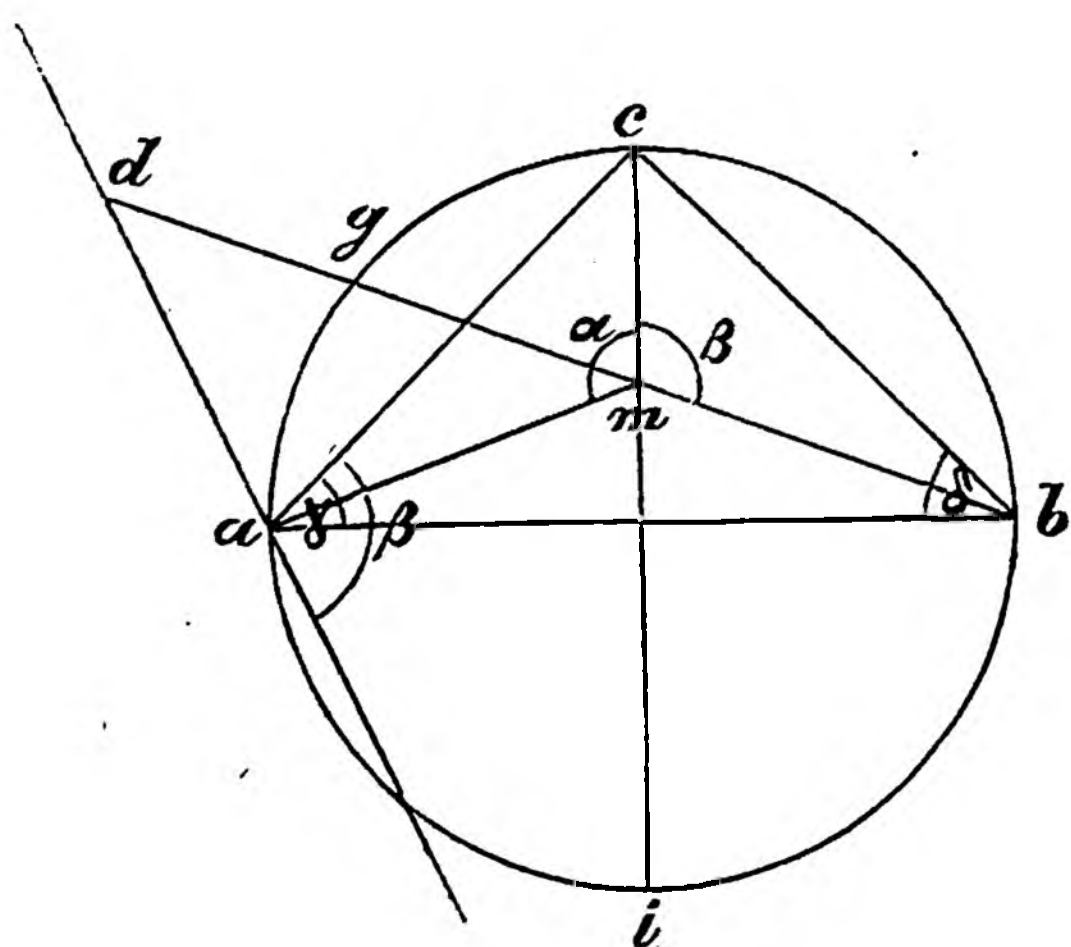


Черт. 369.

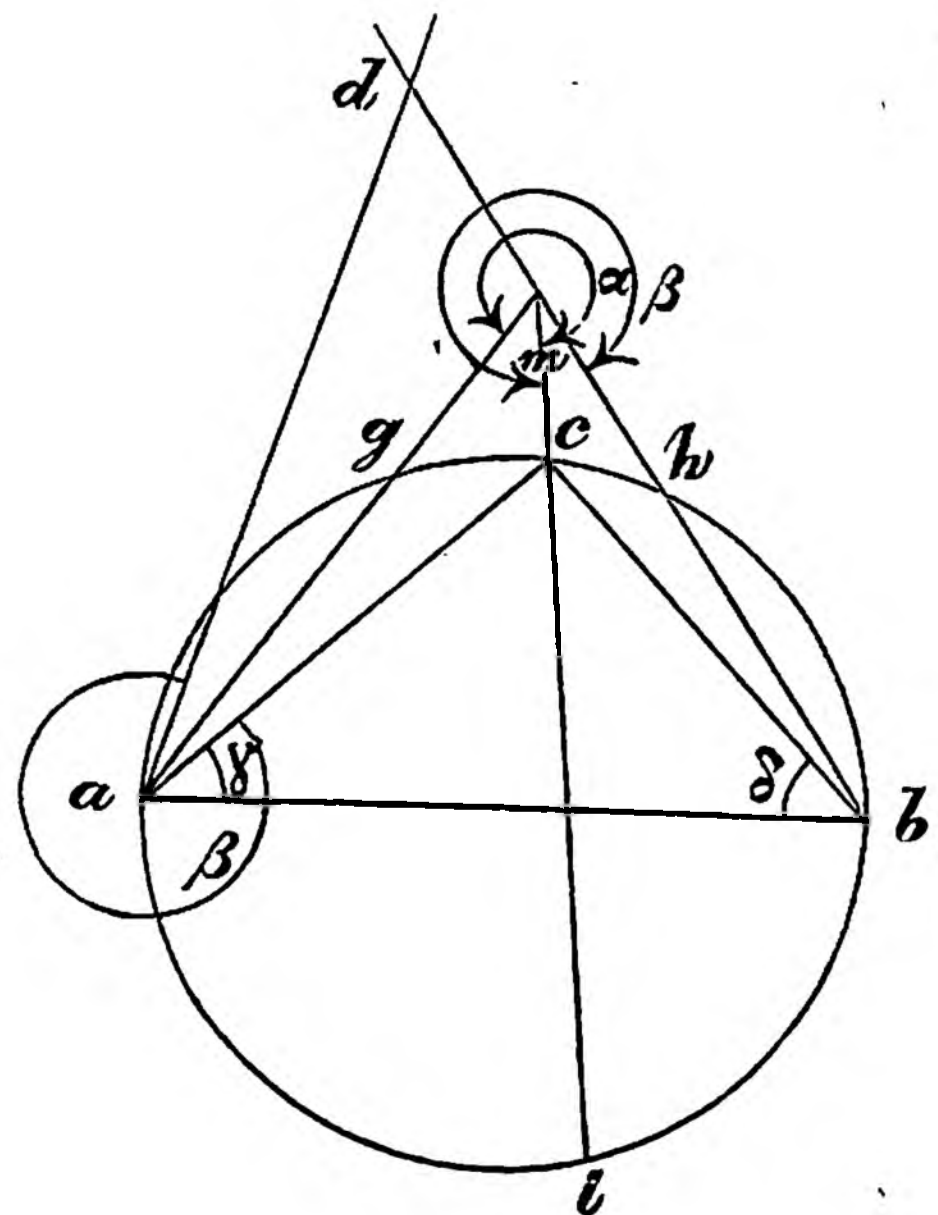


Тоже самое справедливо и въ способѣ Грунерта, какъ это видно изъ чертежа 368, соотвѣтствующаго положенію точки внѣ окружности, изъ чертежа 369, соотвѣтствующаго положенію точки между треугольникомъ и окружностью, изъ чертежа 370, соотвѣтствующаго положенію

Черт. 370.



Черт. 371.

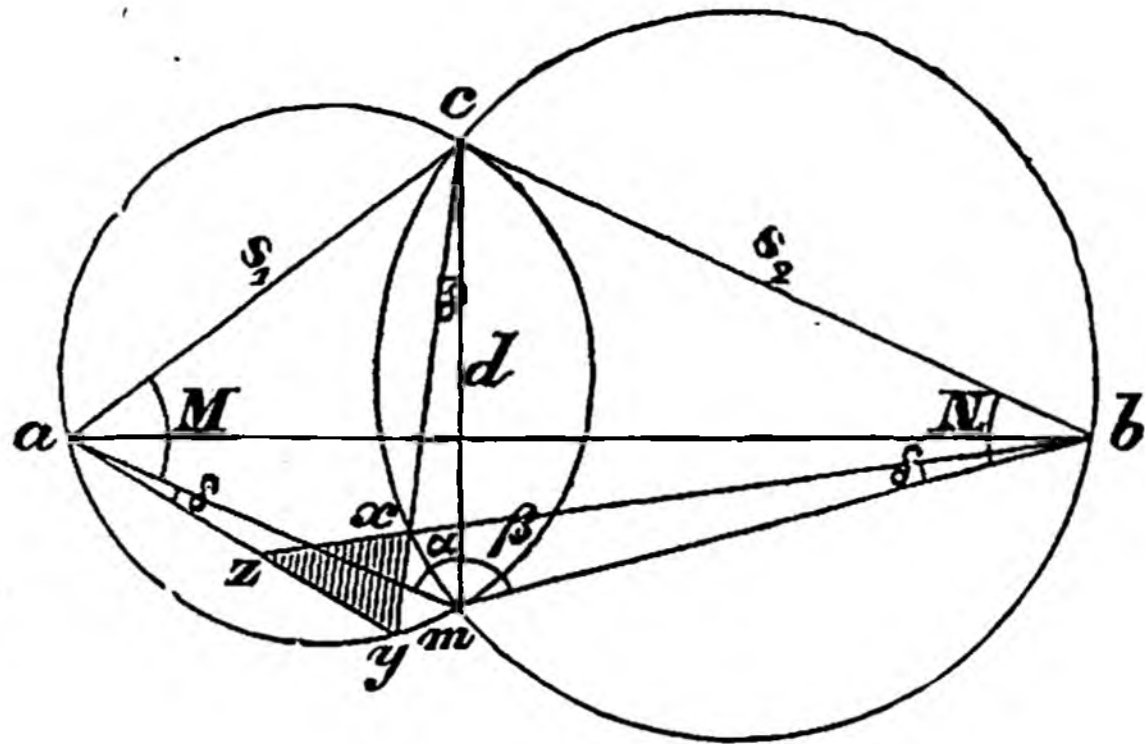


точки внутри даннаго треугольника, и изъ чертежа 371, соотвѣтствующаго положенію точки между продолженными сторонами угла  $acb$  даннаго треугольника. Въ послѣднихъ двухъ случаяхъ точка  $d$  лежитъ по разнымъ сторонамъ съ точкою  $b$  относительно линіи  $ac$ .

Въ способѣ Лемана выгоднѣйшіе случаи остаются тѣ же. Въ самомъ дѣлѣ очевидно, что ориентированіе планшета выполнится тѣмъ точнѣе, чѣмъ большій треугольникъ погрѣшностей получится при малѣйшемъ уклоненіи планшета отъ вѣрнаго его ориентированія. Графическимъ путемъ можно подтвердить, что при одномъ и томъ же уклоненіи планшета большій треугольникъ погрѣшностей получится въ случаяхъ положенія искомой точки внутри даннаго треугольника и между продолженными сторонами одного изъ его угловъ, но то же самое можетъ быть и доказано.

Дѣйствительно, докажемъ что  $xy$  (черт. 372) сторона треугольника

Черт. 372.



погрѣшностей будетъ при одномъ и томъ же углѣ  $\delta$  болѣе въ указанныхъ случаяхъ опредѣленія искомой точки, и слѣдов.

$$xy = cy - cx = \Delta$$

можетъ служить мѣрою точности опредѣленія искомой точки. Сдѣлавъ обозначенія, указанные на чертежѣ, изъ треугольника  $cym$  имѣемъ

$$\frac{cy}{d} = \frac{\sin cmy}{\sin cym} = \frac{\sin (M + \delta)}{\sin M};$$

откуда

$$cx = d \frac{\sin (M + \delta)}{\sin M}.$$

Точно также изъ треугольника  $cxm$  имѣемъ

$$cx = d \frac{\sin (N - \delta)}{\sin N}.$$

Слѣдов.

$$\Delta = d \left[ \frac{\sin (M + \delta)}{\sin M} - \frac{\sin (N - \delta)}{\sin N} \right].$$

Или, послѣ небольшой преобразовки,

$$\Delta = d \sin \delta \frac{\sin (M + N)}{\sin M \sin N} = d \sin \delta \{ \cot M + \cot N \}.$$

Съ перваго взгляда кажется, что  $\Delta$  будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе  $d$ , т. е. чѣмъ длиннѣе средняя линія визированія. Но съ увеличеніемъ  $d$  уменьшаются углы  $\alpha$  и  $\beta$ , а это ухудшаетъ опредѣленіе точки  $m$ , и величина  $d$  можетъ измѣняться только отъ 0 до 20 дюймовъ, тогда какъ множитель  $\{ \cot M + \cot N \}$  измѣняется отъ нуля до безконечности. Поэтому естественно

заклѣчить, что рѣшающее значеніе въ нашемъ вопросѣ принадлежитъ множителю  $\{ \cot M + \cot N \}$ , — чѣмъ онъ болѣе, тѣмъ болѣе и  $\Delta$ . Но  $\{ \cot M + \cot N \}$  увеличивается съ приближеніемъ  $M$  и  $N$  къ  $0^\circ$  или къ  $180^\circ$ . Если имѣть въ виду, что съ приближеніемъ  $M$  и  $N$  къ  $180^\circ$  величина  $d$  увеличивается, а  $\alpha$  и  $\beta$  уменьшаются, что, какъ уже сказано, дурно отзовется на опредѣленіи точки  $m$ , то остается случай когда  $M$  и  $N$  одновременно приближаются къ  $0^\circ$ , а это имѣетъ мѣсто только тогда, когда искомая точка  $m$  лежитъ или внутри даннаго треугольника, или между продолженными сторонами одного изъ его угловъ.

И такъ, выгоднѣйшіе случаи для опредѣленія точки по тремъ даннымъ для всѣхъ указанныхъ въ предыдущемъ способовъ суть тѣ, когда она лежитъ или внутри даннаго треугольника, или между продолженіями сторонъ одного изъ его угловъ.

При сравненіи между собою непосредственныхъ рѣшеній настоящей задачи (способовъ Боненбергера - Бесселя и Грунерта) съ рѣшеніями ихъ по приближенію (способами Лемана и Боненбергера) нужно имѣть въ виду, что въ непосредственныхъ способахъ опредѣляютъ сначала вспомогательную точку для возможности ориентированія планшета и что только въ двухъ случаяхъ положенія искомой точки относительно данныхъ можно рассчитывать на полученіе достаточно длинной линіи для ориентированія, въ другихъ же случаяхъ она можетъ быть очень коротка; это же можетъ привести не къ искомой точкѣ, а къ треугольнику погрѣшностей, т. е. къ тому съ чего начинается рѣшеніе задачи по приближенію. Если еще принять во вниманіе, что иногда вспомогательная точка можетъ упасть за край мензульной доски и сдѣлать примѣненіе непосредственнаго способа совсѣмъ невозможнымъ и что при достаточно большой практикѣ способы треугольника погрѣшностей приводятъ къ результатамъ быстрѣе, то очевидно эти послѣдніе предпочтительнѣе. Но такъ какъ успѣшное ихъ примѣненіе весьма затруднительно для съемщиковъ начинающихъ, то этимъ послѣднимъ можно рекомендовать употребленіе въ началѣ способовъ непосредственныхъ съ тѣмъ, чтобы они переходили постепенно къ способамъ по приближенію или посредственнымъ.

**§ 155.** Кромѣ предыдущихъ геометрическихъ рѣшеній Потенотовой задачи, для той же цѣли употребляется иногда или особый снарядъ, устроенный между прочимъ Болотовымъ\*), или прозрачная бумага.

Снарядъ Болотова состоитъ изъ трехъ линеекъ, вращающихся около одной общей оси, сверху которой помѣщается глазной діоптръ, а внутри — игла, выдвигающаяся внизъ при надавливаніи діоптра. На противоположныхъ концахъ линеекъ помѣщены предметные діоптры. Эти три линейки соединены между собою попарно двумя пластинками, прикрѣпляемыми къ линейкамъ винтами и служащими для воспрепятствованія

\*) *А. П. Болотовъ* былъ профессоромъ Геодезіи въ Военной Академіи съ 1832 по 1853 годъ и написалъ извѣстный и очень распространенный въ свое время „Курсъ высшей и низшей геодезіи.“

измѣненію сообщеннаго имъ относительнаго положенія. Употребленіе снаряда слѣдующее: поставивъ его на доску и смотря въ глазной діоптръ, направляютъ лѣвую и среднюю линейки на лѣвый и средній предметы мѣстности и закрѣпляютъ винты пластинки, соединяющей эти линейки; затѣмъ, наводятъ правую линейку на правый предметъ мѣстности, закрѣпляютъ винты пластинки между среднюю и правую линейками и поворачиваютъ — проходятъ ли всѣ коллимаціонныя плоскости точно чрезъ соотвѣтственные предметы мѣстности. Послѣ этого не измѣняя относительнаго положенія линейекъ, передвигаютъ его на планшетѣ такъ, чтобы ребра линейекъ прошли чрезъ соотвѣтственные точки планшета и, придавивъ глазной діоптръ, накалываютъ точку, которая и есть искомая.

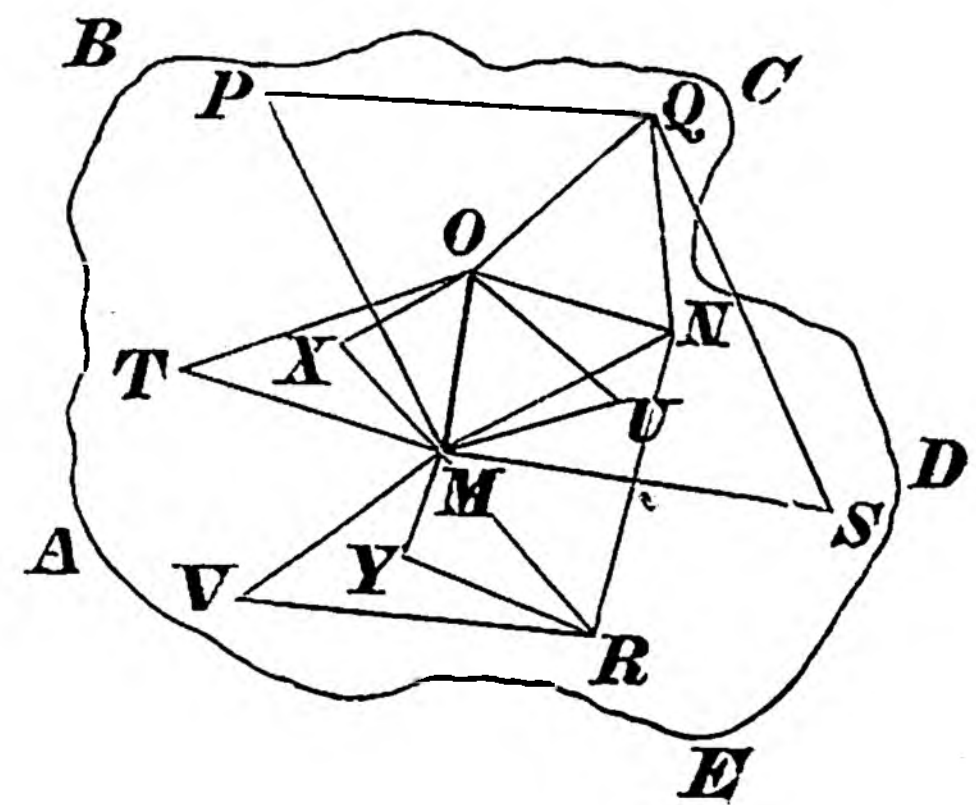
Опредѣленіе точки посредствомъ прозрачной бумаги дѣлается такъ: кладутъ на планшетъ листъ такой бумаги, чрезъ произвольно взятую на ней точку дѣлаютъ направленія на данныя точки мѣстности обыкновеннымъ визирнымъ снарядомъ и прочерчиваютъ по ребру линіи. Затѣмъ, снявъ съ бумаги визирный снарядъ, передвигаютъ листъ по планшету до тѣхъ поръ, пока прочерченныя линіи не пройдутъ чрезъ данныя на планшетѣ точки и, наколовъ общую точку пересѣченія этихъ линій, получимъ на планшетѣ искомую точку.

Способъ этотъ, вслѣдствіе небольшой своей точности, происходящей отъ неровности и растяженія бумаги, уступаетъ всѣмъ предшествующимъ.

### Мензуральная съемка посредствомъ геометрической сѣти.

§ 156. Если мензуральную съемку какого нибудь участка, который покрытъ контурами, производить постепеннымъ переходомъ отъ одного контура къ другому, то вслѣдствіе накопленія неизбѣжныхъ погрѣшностей контуры, снятые подъ конецъ работы, не займутъ того положенія на планшетѣ относительно контуровъ, снятыхъ вначалѣ, какое они имѣютъ въ дѣйствительности, а болѣе или менѣе уклонятся въ сторону. Для возможнаго устраненія накопленія этихъ погрѣшностей, передъ производствомъ съемки контуровъ опредѣляютъ на снимаемомъ участкѣ  $ABCDE$  (черт. 373) нѣкоторыя точки:  $O, M, N, Q, P, T, X, \dots$  при возможно маломъ числѣ установокъ инструмента. Если вообразимъ эти точки соединенными между собою по три прямыми линіями, то получимъ на мѣстности *сѣть треугольниковъ* или *триангуляцію\**). Точки  $O, M, N, \dots$  будучи размѣщены по всему участку, послужатъ не только

Черт. 373.



\*) Названіе *триангуляція* происходитъ отъ лат. слова *triangulus* — треугольникъ. Триангуляція была предложена въ 1615 году тѣмъ же голландцемъ *Снеллиусомъ*, которымъ предложена и задача Потенота.



основаніемъ для съемки контуровъ, но и средствомъ постояннаго контроля во все время производства работы. Необходимость опредѣленія ихъ передъ съемкою подтверждается также основнымъ правиломъ съемки, высказаннымъ въ предварительныхъ понятіяхъ — *порядокъ производства съемки долженъ быть таковъ, чтобы работа постепенно переходила отъ общаго къ частному.*

Триангуляція бываетъ: *тригонометрическая* и *геометрическая*. Если опредѣленіе относительнаго положенія пунктовъ триангуляціи будетъ произведено тригонометрическимъ рѣшеніемъ треугольниковъ и числовымъ опредѣленіемъ положенія каждаго изъ пунктовъ (координатами), то сѣть наз. *тригонометрическою*; если же это опредѣленіе дѣлается графически, геометрическимъ построеніемъ на бумагѣ треугольниковъ подобныхъ, то такая триангуляція наз. *геометрическою*. При съемкахъ составляютъ геометрическую сѣть или независимо отъ сѣти тригонометрической, или основываясь на этой послѣдней. Геометрическая сѣть не основывается на сѣти тригонометрической тогда, когда въ данной мѣстности не имѣется этой послѣдней; въ противномъ случаѣ, геометрическая сѣть имѣетъ обыкновенно въ основаніи сѣть тригонометрическую.

Въ настоящее время рассмотримъ составленіе и пользованіе геометрическою сѣтью; составленіе же тригонометрической сѣти будетъ рассмотрѣно въ главѣ угломѣрныхъ инструментовъ.

Составленіе сѣти геометрической распадается на слѣдующія дѣйствія: выборъ и обозначеніе пунктовъ на мѣстности, выборъ и измѣреніе базиса и наконецъ нанесеніе пунктовъ сѣти на планшетъ.

**§ 157.** Чтобы пункты сѣти удовлетворяли своему назначенію, выбираютъ ихъ на мѣстахъ возвышенныхъ и открытыхъ такъ, чтобы съ каждаго изъ нихъ было видно возможно большее число другихъ; а чтобы удобнѣе было ими пользоваться, какъ опорными при съемкѣ, ихъ выбираютъ на такихъ мѣстахъ, гдѣ сходятся нѣсколько контуровъ, на главныхъ поворотахъ или пересѣченіяхъ дорогъ, на главныхъ изгибахъ контуровъ и т. п. Кромѣ того, такъ какъ положеніе ихъ на планшетѣ будетъ опредѣляться засѣчками, то при выборѣ ихъ надо также наблюдать, чтобы пересѣченіе линій, которыми они опредѣляются, не происходило подъ слишкомъ острыми или тупыми углами. Засѣчка считается ненадежною, если она сдѣлана, какъ сказано выше, подъ углами менѣе  $30^\circ$  и болѣе  $150^\circ$ . Наконецъ при выборѣ пунктовъ сѣти надо помнить, что для возможнаго избѣжанія накопленія неизбежныхъ погрѣшностей, опредѣленіе пунктовъ должно быть произведено при возможно меньшемъ числѣ постановокъ инструмента.

Взаимное разстояніе между избираемыми на мѣстности пунктами зависитъ какъ отъ характера мѣстности, а именно — чѣмъ болѣе на мѣстности контуровъ, тѣмъ разстояніе это менѣе, такъ и отъ масштаба съемки — чѣмъ онъ мельче, тѣмъ длиннѣе должны быть стороны треугольниковъ; вообще же желательно, чтобы стороны треугольниковъ на планшетѣ представлялись линіями не короче двухъ дюймовъ, а число

пунктовъ съти должно быть таково, чтобы на каждый квадратный дюймъ плана приходилось въ среднемъ не менѣе одного.

Если на избранныхъ пунктахъ нѣтъ естественныхъ сигналовъ: колоколенъ, башенъ, верстовыхъ столбовъ, отдѣльныхъ деревьевъ и т. п., то ставятъ на нихъ вѣхи вышиною отъ  $1\frac{1}{2}$  до 3 сажень. Для лучшей видимости вѣхъ на верхушки ихъ навязываютъ или хворостъ, или соломѣ, или дощечку, или двѣ дощечки, сложенные на крестъ и т. п., разнообразя эти значки для того, чтобы можно было различать издали одну вѣху отъ другой.

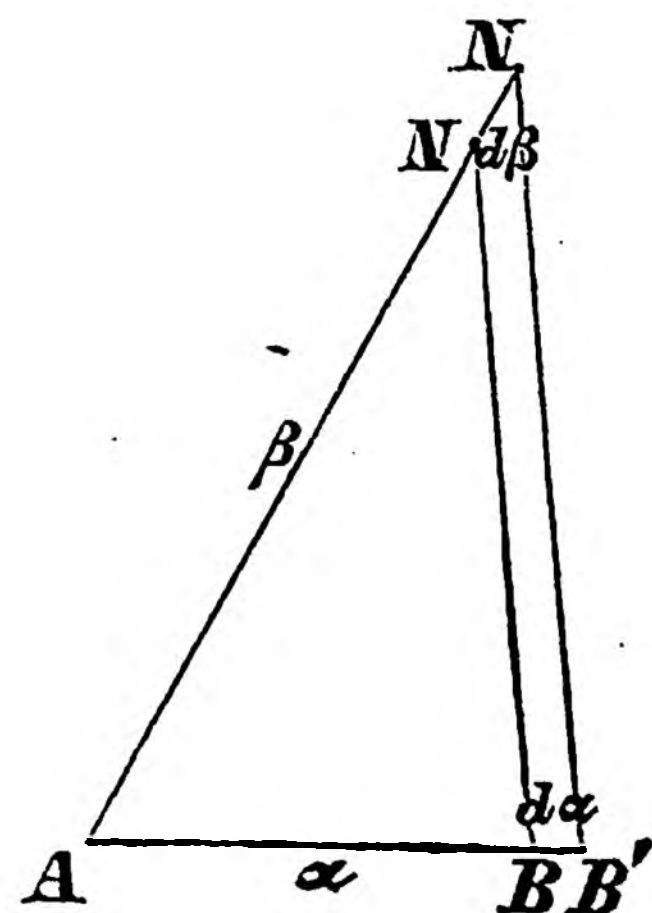
§ 158. Для возможности опредѣленія на бумагѣ относительнаго положенія пунктовъ съти измѣряется на мѣстности одна изъ сторонъ треугольниковъ, напр.  $MO$ , которая называется тогда *базисомъ\**). Мѣсто для базиса избирается одновременно съ выборомъ мѣсть для пунктовъ съти; при чемъ наблюдается, чтобы онъ находился приблизительно на срединѣ снимаемаго участка и на почвѣ ровной, не пересѣкаемой препятствіями — оврагами, рѣками, болотами. Средина участка есть наиболѣе выгодное мѣсто для базиса потому, что при опредѣленіи положенія пунктовъ относительно базиса неизбежныя погрѣшности не будутъ вліять въ одну какую нибудь сторону, а будутъ распредѣляться по *всѣмъ* направленіямъ; вслѣдствіе чего можно рассчитывать и на болѣе точное опредѣленіе положенія пунктовъ съти.

Длина базиса обуславливается какъ масштабомъ съемки, такъ и величиною снимаемаго участка. Такъ если при нанесеніи пунктовъ съти на бумагу допустимъ существованіе только одной погрѣшности — отъ неточнаго нанесенія на планшетъ длины базиса, то базисъ длиною напр. въ 300 саж., нанесенный въ масштабѣ  $\frac{1}{8400}$  (точность котораго есть, какъ извѣстно, 0,5 саж.) будетъ имѣть абсолютную ошибку 0,5 саж., а относительную  $\frac{0,5}{300} = \frac{1}{600}$ . Тотъ же базисъ, нанесенный

въ масштабѣ  $\frac{1}{4200}$ , будетъ имѣть абсолютную ошибку 0,25 саж., а относительную  $\frac{0,25}{300} = \frac{1}{1200}$ . Отсюда видимъ, что

точность нанесенія базиса возрастаетъ съ увеличеніемъ масштаба. Затѣмъ если  $AB = \alpha$  (черт. 374) есть базисъ,  $N$  одинъ изъ крайнихъ пунктовъ снимаемаго участка, то изъ подобія треугольниковъ  $ABN$  и  $AB'N'$ , построенныхъ на базисѣ безошибочномъ и на базисѣ, имѣющемъ абсолютную ошибку  $d\alpha$ , будемъ имѣть

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{d\alpha}{d\beta},$$



Черт. 374.

\*) Греческое слово *basis* означаетъ подножку, стопу, основаніе.

гдѣ  $\beta$  и  $d\beta$  суть разстояніе пункта  $N$  отъ одного изъ концовъ базиса и абсолютная ошибка этого разстоянія. Изъ этой пропорціи имѣемъ

$$d\beta = \frac{\beta}{\alpha} d\alpha,$$

т. е. погрѣшность въ опредѣленіи пункта  $N$ , лежащаго близъ границы снимаемаго участка, во столько разъ болѣе погрѣшности нанесенія на планшетъ базиса, во сколько разъ разстояніе этого пункта отъ одного изъ концовъ базиса болѣе длины самого базиса. Если погрѣшность  $d\beta$  не должна превышать извѣстнаго предѣла, то зная масштабъ съемки можно изъ предыдущей пропорціи вычислить длину базиса; такъ напр. если ошибка  $d\beta$  не должна превышать 3 саж., если наибольшее разстояніе  $\beta$  пункта съти отъ базиса есть 2 версты и наконецъ если масштабъ съемки есть  $\frac{1}{8400}$ , то наименьшая длина базиса опредѣлится изъ пропорціи

$$\frac{\alpha}{1000} = \frac{0,5}{3}, \text{ слѣдов. } \alpha = \frac{500}{3} = 166,67 \text{ саж.},$$

т. е. базисъ долженъ быть не короче 167 саж. или не короче 1,67 дюйма.

Изъ этихъ примѣровъ видимъ, что для болѣе точнаго опредѣленія положенія пунктовъ съти длина базиса должна быть тѣмъ болѣе, чѣмъ мельче масштабъ съемки и чѣмъ болѣе размѣры снимаемаго участка. Такъ какъ точки съти опредѣляются на планшетѣ по базису, то длина его обуславливаетъ также и длину стороны треугольника съти, относительно которой въ предыдущемъ параграфѣ сказано было, чтобы она была не короче двухъ дюймовъ. Поэтому если, на основаніи предыдущаго, предѣлъ базиса выйдетъ короче двухъ дюймовъ, то его дѣлаютъ такой длины, чтобы онъ былъ все-таки не короче двухъ дюймовъ.

Когда мѣсто для базиса выбрано, то его провѣшиваютъ и измѣряютъ стальною лентою или въ крайнемъ случаѣ цѣпью не менѣе трехъ разъ. Среднее ариѳметическое изъ результатовъ измѣренія, приведенное къ горизонту, принимается за длину базиса. Такъ какъ для базиса избирается мѣсто благопріятное для измѣренія, то среднее ариѳметическое не должно отличаться отъ отдѣльныхъ результатовъ измѣренія болѣе чѣмъ на  $\frac{1}{1000}$  долю; въ противномъ случаѣ результатъ, дающій большую разницу, долженъ быть отброшенъ и замѣненъ новымъ измѣреніемъ. Такъ если при измѣреніи базиса получены результаты:

$$357,3 \quad 355,8 \quad 357,7$$

то среднее ариѳметическое изъ перваго и третьяго измѣренія будетъ = 357,5 Разность  $357,5 - 355,8 = 1,7$  составляетъ  $\frac{1,7}{357,5} = \frac{1}{210}$  долю;

а потому второй результат долженъ быть отброшенъ. Новое измѣ-  
реніе базиса дало 357,2; вслѣдствіе чего среднее изъ

$$357,3 \quad 357,2 \quad 357,7$$

будеть 357,4, что и выражаетъ вѣроятную величину базиса.

Можно вычислить среднюю ошибку этого опредѣленія, ибо если обозначимъ среднюю ошибку одного измѣренія чрезъ  $m$ , то средняя ошибка  $M$  вѣроятной величины по § 23 будетъ

$$M = \frac{m}{\sqrt{n}};$$

причемъ  $m = \sqrt{\frac{[\delta^2]}{n-1}}$ , а  $n$  есть число измѣреній. Въ нашемъ случаѣ

$$m = \sqrt{\frac{0,1^2 + 0,2^2 + 0,3^2}{2}} = \pm 0,26$$

$$M = \pm \frac{0,26}{\sqrt{3}} = \pm 0,15 \text{ саж.}$$

При измѣреніи базиса помѣчаютъ иногда середину его; она можетъ пригодиться при съемкѣ контуровъ.

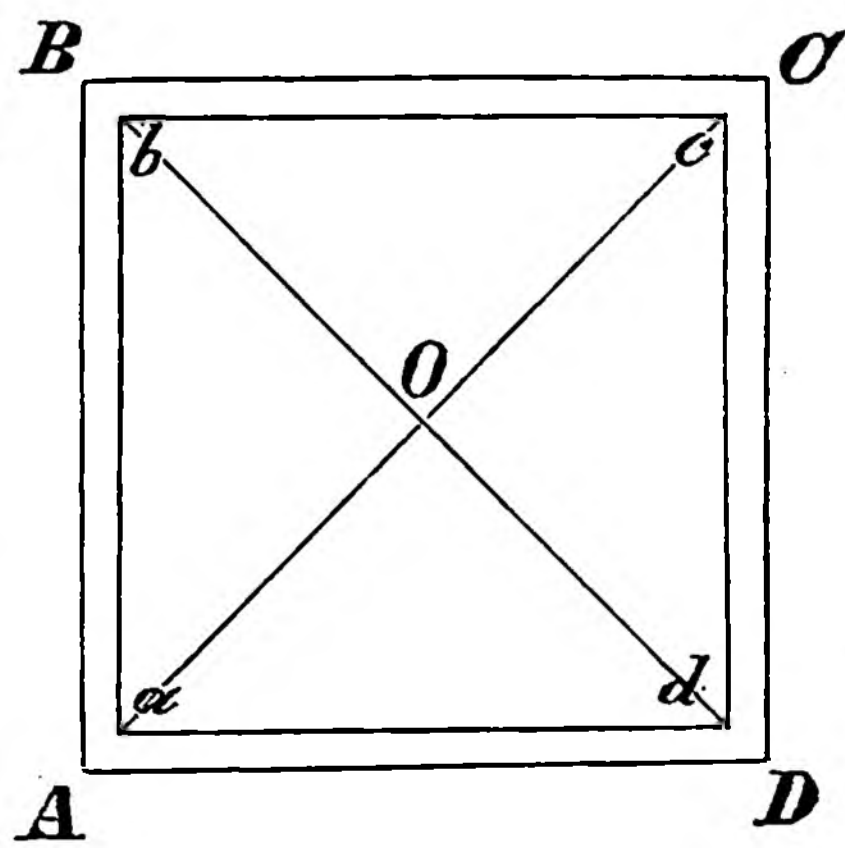
§ 159. Прежде нанесенія пунктовъ съѣти на мензуральный листъ на немъ строятъ квадратъ, служащій рамкою, такихъ размѣровъ, чтобы за сторонами этого квадрата оставалось до краевъ доски по крайней мѣрѣ по одному дюйму для прочерчиванія концовъ линій, служащихъ для ориентированія планшета. Пусть  $ABCD$  (черт. 375) есть мензуральная доска. Приложимъ ребро вывѣренной линейки къ  $A$  и  $C$  и прочертимъ съ угла на уголь прямую  $AC$ ; затѣмъ приложимъ линейку къ  $B$  и  $D$  и прочертимъ тоже съ угла на уголь линію  $BD$ . Отъ точки  $O$  пересѣченія этихъ линій отложимъ штангенъ-циркулемъ по направленію  $OA$ ,  $OB$ ,  $OC$ ,  $OD$  длины равныя половинѣ гипотенузы прямоугольнаго треугольника съ катетами равными сторонамъ того квадрата, который желаемъ построить. Соединивъ полученныя точки  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  прямыми линіями, получимъ искомый квадратъ  $abcd$ . Для повѣрки нужно измѣрить стороны  $ab$ ,  $bc$ ,  $cd$  и  $da$  и удостовѣриться въ томъ, что онѣ дѣйствительно имѣютъ надлежащую длину. Длина половины гипотенузы, откладываемая на  $OA$ ,  $OB$ ,  $OC$  и  $OD$  получается вычисленіемъ изъ слѣдующаго: если  $abcd$  есть искомый квадратъ, то

$$Oa = \frac{1}{2} ac = \frac{1}{2} \sqrt{ad^2 + cd^2} = \frac{1}{\sqrt{2}} ad.$$

Напр. если сторона  $ad$  квадрата должна быть равна 20 дюймамъ, то

$$Oa = \frac{20}{\sqrt{2}} = 14,14 \text{ дюйма.}$$

Черт. 375.



Если имѣется большой штангенъ - циркуль, то построение квадрата можно произвести и такъ: проведя съ угла на уголь линію  $AC$ , откладывая на ней длину гипотенузы, вычисленную по формулѣ  $ac = ab \sqrt{2}$ , гдѣ  $ab$  есть данная сторона квадрата. Затѣмъ, принимая послѣдовательно  $a$  и  $c$  за центры, описываютъ, по обѣимъ сторонамъ линіи  $ac$ , дуги радіусомъ  $ab$ . Соединеніе пересѣченій этихъ дугъ съ точками  $a$  и  $c$  дастъ искомый квадратъ  $abcd$ , который можетъ быть повѣренъ тѣмъ, что діагональ  $bd$  должна быть равна діагонали  $ac$ . Если  $ab$  должно быть равно 20 дюйм., то  $ac = 28,28$  дюйма.

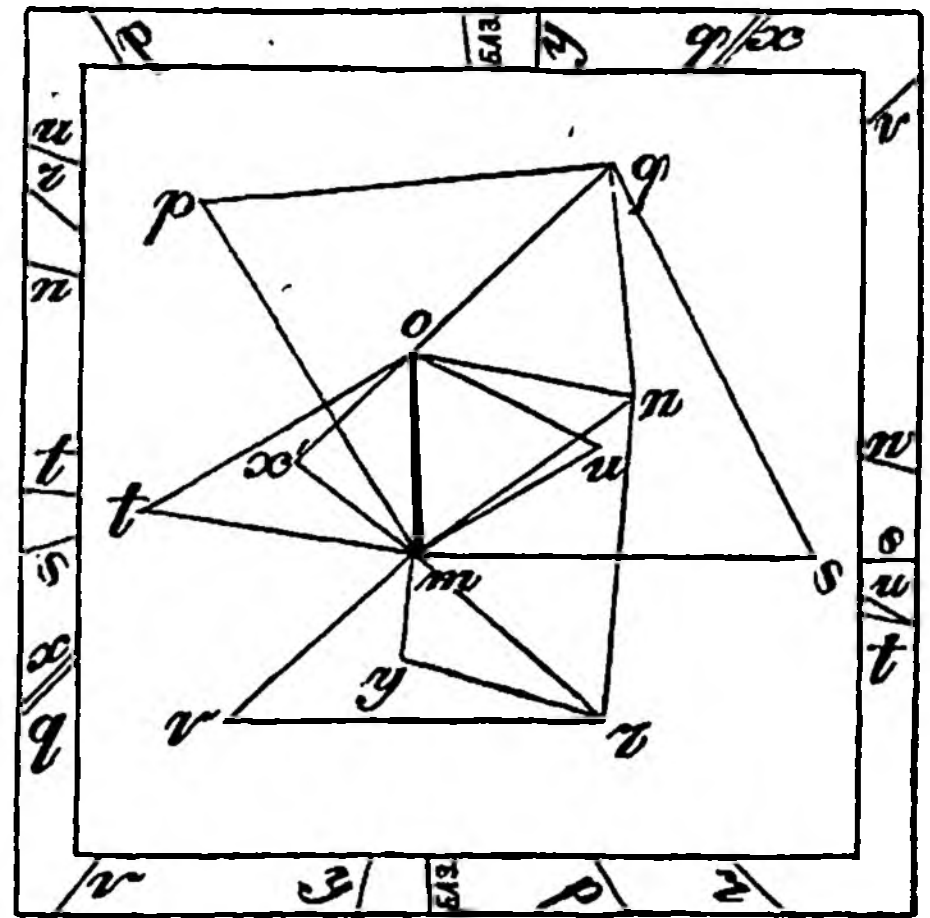
Теперь рѣшимъ вопросъ: помѣстится ли данный участокъ внутри построеннаго квадрата (рамки) или нѣтъ? Для рѣшенія его надо знать длину наибольшаго протяженія по снимаемому участку; а это можетъ быть извѣстно или по картѣ, имѣющейся у съемщика подъ рукою, или, за отсутствіемъ ея, по оцѣнкѣ этой длины на-глазъ при выборѣ пунктовъ сѣти на мѣстности. Пусть тѣмъ или другимъ путемъ обнаружилось, что наибольшее протяженіе  $= 6$  верстамъ  $= 3000$  саж. Съ другой стороны, такъ какъ сторона рамки  $= 20$  дюймамъ, что при масштабѣ  $\frac{1}{8400}$ , въ которомъ, допустимъ, должна быть произведена съемка, составляетъ 2000 саж. или 4 версты, и такъ какъ наибольшая длина участка можетъ расположиться при съемкѣ по направленію стороны квадрата, то сравнивая послѣднее число съ наибольшимъ протяженіемъ (6 верствъ) видимъ, что нашъ участокъ при указанномъ масштабѣ не можетъ помѣститься на одномъ планшетѣ.

Послѣ этого приступаютъ къ нанесенію пунктовъ сѣти на планшетъ; при этомъ могутъ быть два случая: когда участокъ помѣщается въ масштабѣ съемки на одномъ планшетѣ и когда онъ не помѣщается.

Сначала рассмотримъ нанесеніе пунктовъ сѣти въ томъ случаѣ, когда данный участокъ помѣщается на одномъ планшетѣ. Обыкновенно при этомъ нанесеніи нужно руководствоваться тою послѣдовательностью работы, которая имѣлась въ виду при выборѣ пунктовъ сѣти на мѣстности. Положимъ, что при выборѣ пунктовъ на участкѣ  $ABCDE$  (черт. 373) имѣлось въ виду слѣдующее: принявъ линію  $MO$  за базисъ, опредѣлить съ его концовъ пункты  $T$ ,  $X$ ,  $U$  и  $N$ ; затѣмъ опредѣлить  $Q$  по  $O$  и  $N$ , провѣрить это опредѣленіе по пунктамъ  $T$ ,  $X$  и  $U$ ; съ  $Q$  и  $M$  опредѣлить пункты  $P$  и  $S$ , пунктъ  $R$  опредѣлить по  $M$  и  $N$  и провѣрить этотъ послѣдній по видимымъ съ него пунктамъ  $Q$ ,  $U$  и  $S$ ; съ пунктовъ  $M$  и  $R$  опредѣлить пункты  $V$  и  $Y$  и наконецъ перейдя съ мензулою на пунктъ  $T$  провѣрить его по пунктамъ  $P$ ,  $Q$ ,  $X$  и  $R$ , послѣ чего съ того же пункта провѣрить опредѣленіе пунктовъ  $V$  и  $Y$ . Дѣйствуя такимъ путемъ, всѣ пункты сѣти не только будутъ опредѣлены, но и нѣсколько разъ провѣрены. Чтобы этотъ распорядокъ работы привести въ исполненіе, становятся съ мензулою въ одинъ изъ концовъ базиса, напр.  $M$ , вынувъ предварительно вѣху, стоящую въ этомъ пунктѣ. Приводятъ мензулу въ горизонтальное положеніе на-глазъ, ориентируютъ какую нибудь сторону рамки посредствомъ буссоли

по магнитному или, если известно склонение магнитной стрѣлки, по истинному меридіану и назначаютъ на мензулѣ точку  $m$  (черт. 376), соответствующую точкѣ стоянія  $M$ , такъ чтобы снимаемый участокъ могъ помѣститься внутри начерченного на планшетѣ квадрата. Послѣ этого мензулу центрируютъ точно точкою  $m$ , приводятъ планшетъ въ горизонтальное положеніе по уровню, снова ориентируютъ ее по меридіану и прекращаютъ грубое вращеніе доски закрѣпленіемъ соответственнаго винта въ подставкѣ мензулы. Затѣмъ приложивъ ребро линейки визирнаго прибора къ  $m$ , визируютъ на другой конецъ  $O$  базиса и прочерчиваютъ линію такой длины, чтобы на ней можно было отложить по масштабу съемки результатъ измѣренія базиса. Послѣ этого, отложивъ на  $mo$  длину базиса, визируютъ на всѣ видимыя изъ  $M$  точки  $P, X, T, V, Y, R, S, U$  и  $N$  и проводятъ на планшетѣ линіи:  $mp, mx, mt, mv, my, mr, ms, mi$  и  $mn$ . Покончивъ всѣ визированія съ точки  $M$ ,

Черт. 376.



снова повѣряютъ ориентировку планшета по базису. Если она вѣрна, то это удостовѣрять, что планшетъ не измѣнилъ своего положенія во время визированій; въ противномъ случаѣ всѣ прочерченныя съ этой точки направленія должны быть провѣрены и если надо исправлены. Далѣе снова поставивъ въ  $M$  вѣху, переносятъ мензулу на другой конецъ базиса въ  $O$ , гдѣ вынувъ вѣху, стоящую въ этой точкѣ, центрируютъ надъ нею планшетъ, приводятъ его въ горизонтальное положеніе и ориентируютъ на  $M$ . Послѣ этого закрѣпляютъ доску, дѣлаютъ визированія на  $U, N, T$  и  $X$ , засѣкаютъ направленія на эти точки, сдѣланныя съ  $M$ , и получаютъ вслѣдствіе этого на планшетѣ точки  $u, n, t$  и  $x$ ; при чемъ наблюдаютъ, чтобы эти засѣчки не были слишкомъ остры или тупы; наконецъ изъ точки  $O$  прочерчиваютъ визированіе на новую точку  $Q$ . Убѣдившись провѣркою ориентировки въ томъ, что планшетъ сохранилъ данное ему вначалѣ положеніе, снимаютъ мензулу, ставятъ въ  $O$  вѣху и переносятъ инструментъ въ точку  $Q$ . Назначивъ на направленіи  $oq$  примѣрное положеніе точки  $q$ , устанавливаютъ мензулу надъ  $Q$  надлежащимъ образомъ, ориентируютъ ее по направленію  $qo$  и получаютъ точку  $q$  обратной засѣчкою чрезъ  $n$  на  $N$ . Прежде чѣмъ приступить къ визированію съ этой точки на вновь открывшіяся, надо провѣрить опредѣленія на планшетѣ какъ точки стоянія, такъ и точекъ  $t, x, u$  и  $n$ . Для этого прикладываютъ ребро линейки визирнаго прибора послѣдовательно къ точкамъ:  $q$  и  $t, q$  и  $x, q$  и  $u, q$  и  $n$  и смотрятъ — проходитъ ли коллимаціонная плоскость чрезъ  $T, X, U$  и  $N$ ; при этомъ могутъ быть такіе случаи: 1) коллимаціонная плоскость проходитъ послѣдовательно чрезъ всѣ эти вѣхи, 2) коллимаціонная плоскость проходитъ только чрезъ  $T, U$  и  $N$ , а чрезъ  $X$  не проходитъ и 3) коллимаціонная плоскость не проходитъ ни чрезъ одну изъ предыдущихъ вѣхъ.

Въ первомъ случаѣ можно почти съ достовѣрностью утверждать, что какъ  $q$ , такъ и  $t$ ,  $x$ ,  $u$ ,  $n$  опредѣлены вѣрно. Во второмъ случаѣ слѣдуетъ сдѣлать весьма вѣроятное предположеніе, что точка  $x$  невѣрно нанесена на планшетъ; и имѣя это въ виду, надо будетъ опредѣлить ее съ другихъ точекъ, на которыя будемъ становиться съ мензулою (напр. съ  $Q$  и  $R$ ). Наконецъ причиною появленія третьяго случая можетъ быть: или невѣрное ориентированіе планшета въ  $Q$ , или невѣрное опредѣленіе самой точки  $q$ . Если повѣрка ориентированія не приводитъ къ благопріятному результату, то невѣрность могла произойти отъ невѣрнаго проведенія направленія  $oq$ . Тогда возвратившись съ мензулою въ  $O$  провѣряютъ направленія  $oq$  и  $on$ . При невѣрности направленія  $oq$ , проводятъ новое, переходятъ опять въ  $Q$ , снова ориентировуются по  $qo$  и снова опредѣляютъ  $q$  чрезъ  $n$ ; если же въ  $O$  окажется, что оба направленія  $oq$  и  $on$  вѣрны или направленіе  $oq$  вѣрно, а  $on$  невѣрно, то оба эти обстоятельства даютъ возможность предполагать невѣрность опредѣленія точки  $n$ . Перейдя тогда опять изъ  $O$  въ  $Q$ , опредѣляютъ  $q$  уже не по  $n$ , а по другой какой нибудь точкѣ, напр. по  $u$ . Опредѣливъ такимъ образомъ  $q$  и провѣривъ ее по другимъ точкамъ, засѣкаютъ направленія  $tr$  и  $ts$ , а также если надо и направленіе  $on$ . Послѣ этого вновь повѣривъ ориентированіе, снимаютъ мензулу съ  $Q$  и переносятъ ее въ  $R$ , гдѣ установивъ ее надлежащимъ образомъ опредѣляютъ  $r$  обратной засѣчкою чрезъ  $n$ , провѣряютъ ее на всѣ видимыя съ нея точки  $T$ ,  $P$ ,  $X$ ,  $N$ ,  $S$  и опредѣляютъ новыя точки  $y$  и  $v$ . Въ заключеніе для повѣрки главнымъ образомъ точекъ  $y$  и  $v$ , переносятъ мензулу въ  $T$  и провѣряютъ окончательно всѣ видимыя пункты.

Такимъ образомъ всѣ пункты сѣти на планшетѣ опредѣлены и провѣрены.

Къ сказанному о нанесеніи триангуляціи нужно добавить: 1) предположенный распорядокъ работы можетъ подвергнуться во время ея хода нѣкоторому измѣненію, если при опредѣленіи точекъ обнаружится что нѣкоторыя изъ нихъ получаются подъ острыми или тупыми углами, или встрѣтятся какія либо невѣрности;

2) для послѣдующей постановки инструмента нужно брать точку, дальнѣе отстоящую отъ предыдущей, чрезъ что уменьшается число станцій, а слѣдов. и накопленіе неизбѣжныхъ погрѣшностей;

3) такъ какъ каждый пунктъ триангуляціи опредѣляется пересѣченіемъ двухъ направленій, то для избѣжанія накопленія слишкомъ большаго числа прочерченныхъ за рамкою направленій, достаточно дѣлать эти продолженія только съ одного изъ пунктовъ; напр. точка  $q$  опредѣлена пересѣченіемъ направленій  $qo$  и  $qn$ , а за рамкою достаточно прочертить только продолженіе направленія  $qo$ ;

4) вставъ съ мензулою на какой нибудь пунктъ сѣти и ориентировавъ планшетъ, нужно прежде всего провѣрить на планшетѣ точку стоянія и уже только послѣ этого приступить къ опредѣленію новыхъ точекъ;

5) каждую точку на планшетѣ, послѣ ея повѣрки, накалываютъ круглою иголкою съ зачерненіемъ образовавшагося углубленія остриемъ

карандаша; затѣмъ стеревъ резиною пересѣченіе линій, ея опредѣляющихъ, обводятъ точку кружкомъ;

б) вѣхи, служащія для обозначенія пунктовъ сѣти, надо ставить отвѣсно и для большей устойчивости углублять нижній конецъ въ землю на аршинъ и болѣе.

**§ 160.** Когда снимаемый участокъ непомѣщается на одномъ планшетѣ, то нанесеніе составленной на мѣстности сѣти производится по двумъ способамъ.

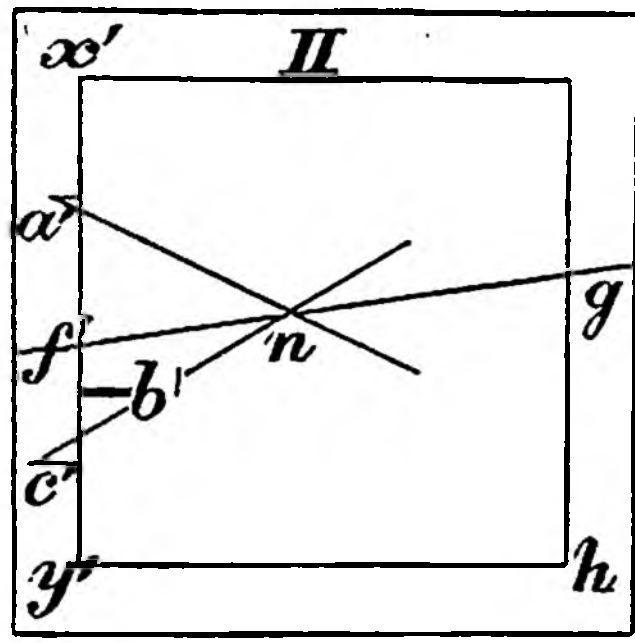
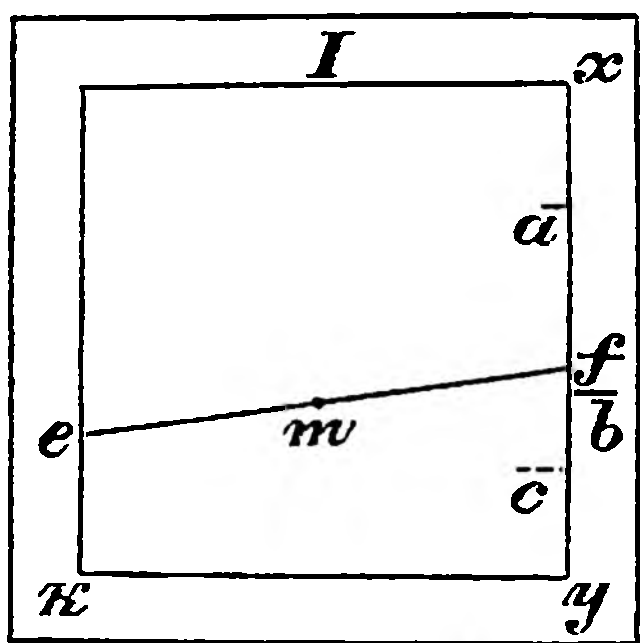
Въ *первомъ* способѣ это нанесеніе дѣлается въ томъ же масштабѣ, который предположенъ и для съемки подробностей. Самыя дѣйствія состоятъ въ слѣдующемъ: съ измѣреннаго базиса, выбраннаго въ срединѣ участка, наносятъ на первый планшетъ тѣ точки мѣстности, которыя на немъ помѣстятся, и притомъ въ той послѣдовательности, какъ предположено; затѣмъ точки, лежащія вблизи стороны рамки, переносятся на слѣдующіе планшеты и принявъ разстояніе между двумя перенесенными пунктами за новый базисъ продолжаютъ нанесеніе сѣти на этомъ второмъ планшетѣ. Поступая такимъ же образомъ далѣе, получаютъ всю сѣть на нѣсколькихъ планшетахъ, на которыхъ послѣ этого и производится съемка подробностей. Если съемщикъ имѣетъ столько мензульныхъ досокъ, сколько нужно для нанесенія пунктовъ *всей* триангуляціи, то перенесеніе точекъ на смежные планшеты дѣлается сейчасъ же по окончаніи нанесенія на планшетъ предыдущемъ; если же съемщикъ имѣетъ только одну доску, то по окончаніи нанесенія на ней пунктовъ производится съемка подробностей и иллюминировка контуръ планшета, послѣ чего еще нѣ сръзая листа съ доски, съемщикъ измѣряетъ на немъ всѣ тѣ величины, которыя опредѣляютъ положенія переносимыхъ пунктовъ, и записываетъ ихъ; за симъ по сръзкѣ съ доски листа, покрытаго съемкой, и наклейки на нее чистой бумаги, строятъ на ней квадратъ, равный квадрату перваго планшета, и наносятъ точки по сдѣланнымъ записямъ. Такая предосторожность необходима потому, что по сръзкѣ бумаги съ доски она сядетъ, вслѣдствіе чего и измѣнится какъ относительное расположеніе пунктовъ сѣти между собою, такъ и положеніе ихъ относительно сторонъ рамки.

Перенесеніе точекъ съ одного планшета на смежный съ нимъ производится при этомъ такъ: пусть точки  $a, b, c$  (черт. 377) лежатъ настолько близко къ сторонѣ  $xy$  рамы, что могутъ быть изображены на обоихъ смежныхъ планшетахъ  $I$  и  $II$ ; тогда для перенесенія ихъ на планшетъ  $II$ , опускаютъ изъ нихъ геометрическимъ путемъ перпендикуляры на  $xy$  и измѣряютъ какъ ихъ самихъ, такъ и разстоянія подошвъ ихъ отъ ближайшей вершины  $x$  или  $y$ . Хотя этихъ измѣреній вполне достаточно для перенесенія точекъ, тѣмъ не менѣе ради возможности сдѣлать повѣрку перенесенія мѣряютъ еще на планшетѣ  $I$  разстоянія подошвъ перпендикуляровъ отъ отдаленныхъ вершинъ  $x$  или  $y$  и взаимныя разстоянія между точками  $a, b$  и  $c$ .

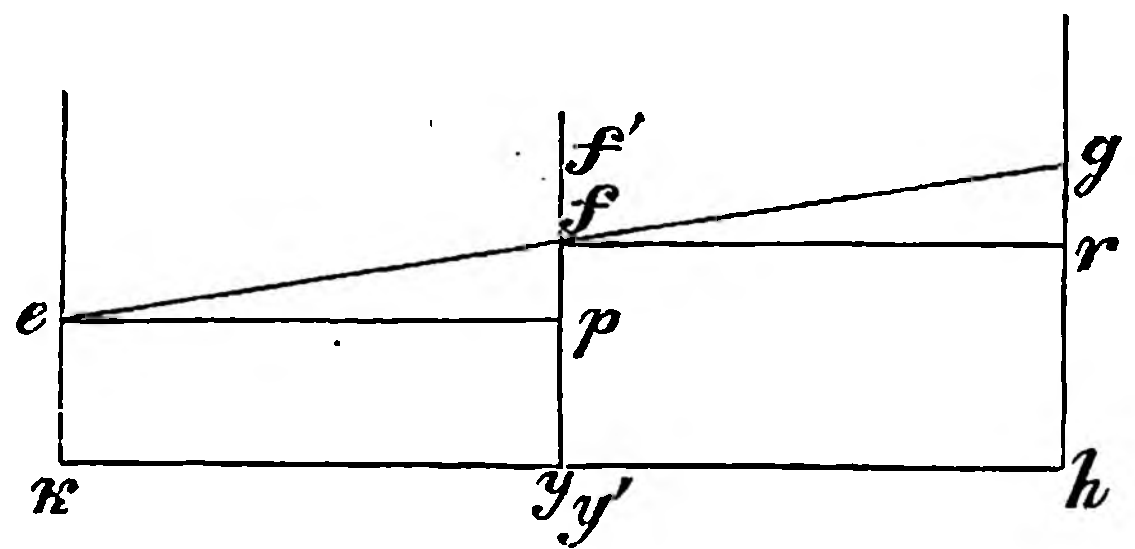


Весьма важный недостатокъ этого способа нанесенія состоитъ въ невозможности повѣрять опредѣленіе пунктовъ послѣдующихъ планшетовъ по пунктамъ, нанесеннымъ на планшетахъ предыдущихъ, чѣмъ и уменьшать накопленіе неизбежныхъ погрѣшностей. Однако этотъ недостатокъ нѣсколько ослабляется тѣмъ, что на планшетъ смежный наносятъ

Черт. 377.



Черт. 378.



длинную линію, посредствомъ которой его можно весьма точно ориентировать. Для этого стоя съ планшетомъ *I* въ какой нибудь точкѣ *M* дѣлаютъ чрезъ *m* направленіе *ef* на такую точку *N* мѣстности, которая должна помѣститься на планшетѣ *II*, при чемъ это направленіе должно пересѣкать противоположныя стороны рамки планшетовъ *I* и *II*. Чтобы прочертить продолженіе линіи *ef* на планшетѣ *II* достаточно опредѣлить на немъ положеніе точекъ *f'* и *g*, въ которыхъ это направленіе пересѣчетъ противоположныя стороны рамки. Но  $f'y' = fy$ , поэтому взявъ въ циркуль длину *fy* переносятъ ее на сторону  $x'y'$ ; а положеніе точки *g* опредѣлится изъ слѣдующаго: представимъ себѣ, что планшеты *I* и *II* сдвинуты такъ, что сторона *xy* квадрата совпадаетъ съ  $x'y'$  и проведемъ чрезъ *e* и *f* линіи *ep* и *fr* (черт. 378), параллельныя сторонамъ *ky* рамы, тогда

$$hg = fy + gr;$$

но

$$gr = fp = fy - ek,$$

поэтому

$$hg = 2fy - ek;$$

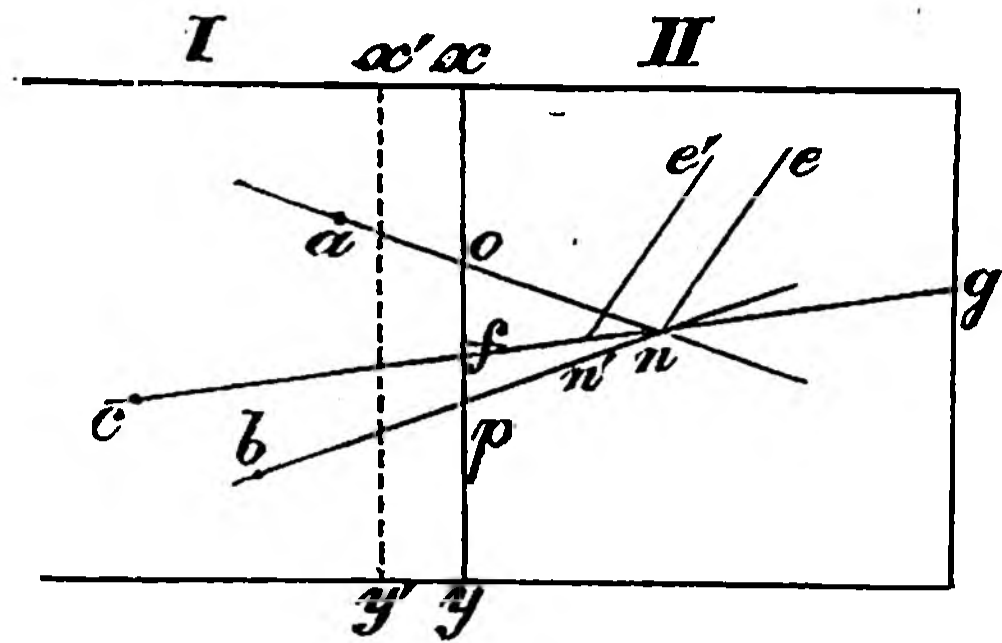
слѣдов. для опредѣленія длины *hg* достаточно измѣрить *fy* и *ek*. Вычисливъ длину *hg* остается отложить ее вверхъ отъ *h* и точка *g* будетъ получена. Далѣе для опредѣленія положенія точки *n* (черт. 377) становятся на мѣстности съ мензулою въ *N*, ориентируютъ планшетъ по *f'g* на *M* и засѣкаютъ это направленіе визированіемъ чрезъ *a'* на *A* или чрезъ *c'* на *C*. Для повѣрки остается еще кромѣ того направленіе *b'n*.

Имѣя такимъ образомъ на планшетѣ *II* точки: *n*, *a'*, *b'* и *c'*, разстояніе между двумя изъ нихъ принимается за новый базисъ, относительно котораго и наносятся пункты триангуляціи, помѣщающіеся на планшетѣ *II*.

Собственно говоря нѣтъ необходимости, чтобы точки *a*, *b* и *c* помѣщались вблизи стороны рамы. Дѣйствительно вообразимъ, что чрезъ

удаленныя отъ стороны  $xy$  (черт. 379) рамы точки  $a, c, b$  сдѣланы направленія на  $N$  и прочерчены на планшетѣ  $I$  линіи  $ao, cf$  и  $bp$ ; тогда длины  $oy, fy$  и  $py$  могутъ быть перенесены на планшетъ  $II$  и вмѣстѣ съ тѣмъ прочерчена на этомъ послѣднемъ, по изложенному въ предыдущемъ способу, линія  $fg$ . Затѣмъ вставъ съ мензулою въ  $N$ , ориентируютъ планшетъ по  $fg$  и, визируя чрезъ  $o$  на  $A$  и чрезъ  $p$  на  $B$ , засѣкаютъ направленія  $fg$  въ  $n$  и провѣряются. Въ этомъ случаѣ для нанесенія пунктовъ триангуляціи, помѣщающихся на планшетѣ  $II$ , надо будетъ измѣрить на мѣстности базисъ, для чего выбираютъ на ней удобную линію  $NE$ , измѣряютъ ее и наносятъ на планшетъ, стоя съ мензулою въ  $N$ .

Черт. 379.



Можетъ случиться, что точка  $N$  видна только изъ  $C$ ; тогда сдѣлавъ съ  $C$  направленіе  $cf$  и проведя на планшетѣ  $II$  по предыдущему линію  $fg$ , выбираютъ на этомъ послѣднемъ планшетѣ точку  $n'$  на-глазъ и наносятъ базисъ  $n'e'$ . Слѣдствіемъ этого будетъ то, что сторона  $xy$  рамки передвинется въ  $x'y'$ . Поставить  $x'y'$  на надлежащее мѣсто можно будетъ тогда, когда на планшетѣ  $II$  будутъ сняты тѣ точки, которыя лежатъ вблизи  $xy$  на планшетѣ  $I$ .

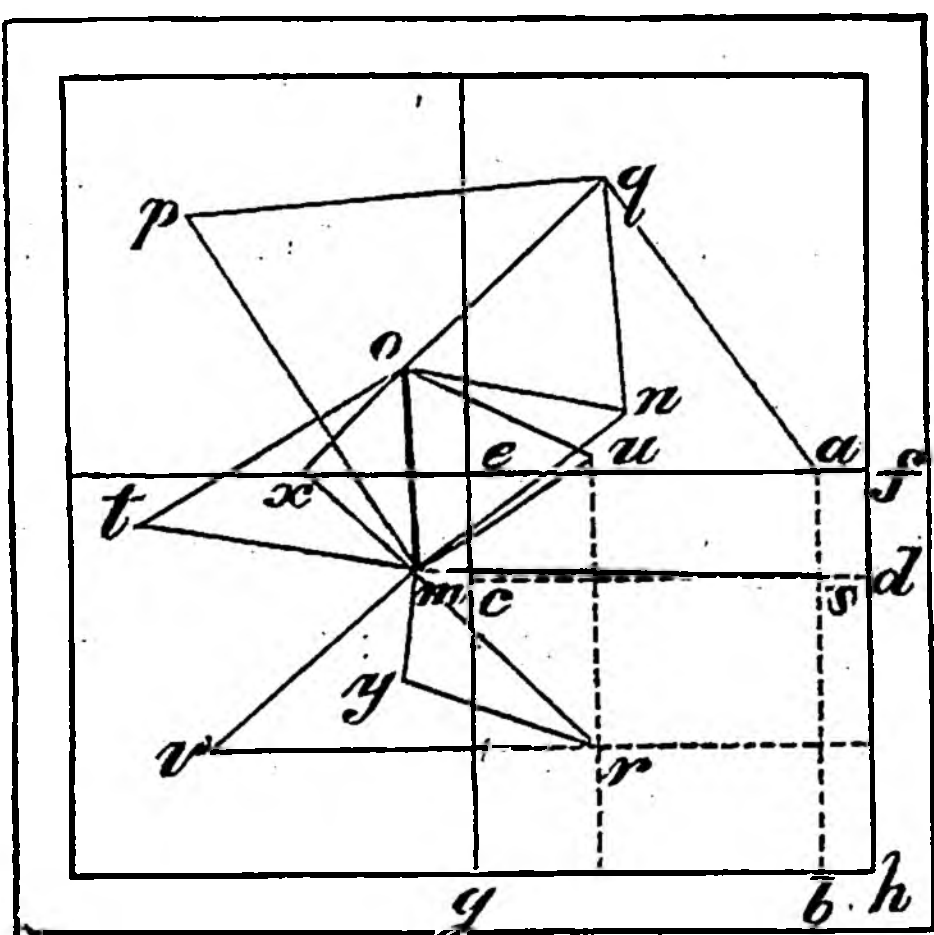
*Второй* способъ нанесенія пунктовъ триангуляціи участка, не помѣщающагося на одномъ мензульномъ листѣ, основанъ на такомъ измѣненіи масштаба, чтобы весь участокъ расположился на одномъ планшетѣ. Для опредѣленія этого масштаба дѣлятъ наибольшее протяженіе по участку на число дюймовъ въ сторонѣ рамки планшета и по частному опредѣляютъ число сажень, которое нужно принять въ одномъ дюймѣ масштаба. Напр., пусть наибольшее протяженіе по участку есть 7 верстъ или 3500 саж., а сторона рамы равна 20 дюймамъ; тогда  $\frac{3500}{20} = 175$  показываетъ, что принявъ одинъ дюймъ за 200 саж. можно будетъ весь участокъ помѣстить на одномъ планшетѣ.

Самое нанесеніе сѣти въ этомъ масштабѣ производится также, какъ и прежде, т. е. начавъ съ нанесенія базиса, постепеннымъ переходомъ съ мензулою получаютъ на одномъ планшетѣ засѣчками всѣ пункты триангуляціи.

§ 161. Когда сѣть въ уменьшенномъ масштабѣ будетъ нанесена, тогда планшетъ, на которомъ она получена, называемый *общимъ*, разбиваютъ на такіе квадраты, представляющіе *частныя* планшеты, чтобы каждый изъ нихъ могъ помѣститься на мензульной доскѣ въ томъ масштабѣ, въ которомъ предположено производить съемку. Для совершенія этого вычисляютъ какую долю длина стороны квадрата въ масштабѣ съемки составляетъ отъ стороны квадрата въ масштабѣ общаго планшета. Это дѣлается очень просто, а именно: пусть масштабъ общей сѣти

есть  $\frac{1}{M}$  и сторона рамки общаго планшета =  $m$  дюймамъ, а масштабъ, въ которомъ нужно произвести съемку, есть  $\frac{1}{N}$  и сторона квадрата =  $n$  дюймамъ; тогда число сажень въ сторонѣ квадрата общаго планшета будетъ  $(M:84)m$ , а число сажень въ сторонѣ квадрата частнаго планшета =  $(N:84)n$ ; вслѣдствіе этого  $\frac{(M:84)m}{(N:84)n} =$  нѣкоторому цѣлому числу  $k +$  дробь. Слѣдов.  $k + 1$  покажетъ насколько равныхъ частей надо раздѣлить сторону квадрата общаго планшета, а  $(k + 1)^2$  выразитъ число всѣхъ частныхъ планшетовъ. Напр. если масштабъ общей сѣти есть 200 саж. въ дюймѣ, а масштабъ, въ которомъ нужно производить съемку, есть 100 саж. въ дюймѣ, кромѣ того если сторона рамки общаго планшета есть 20 дюймовъ, а съемку предполагается производить на малыхъ мензульныхъ доскахъ, на которыхъ построены квадраты со сторонами только въ 10 дюймовъ, то число сажень въ сторонѣ квадрата общаго планшета есть  $200 \times 20 = 4000$ , а въ сторонѣ квадрата малой доски —  $100 \times 10 = 1000$ . Такъ какъ 1000 составляетъ четвертую долю отъ 4000, то и сторона квадрата для съемки (частнаго планшета) должна составлять четвертую долю отъ стороны квадрата общаго планшета. На этомъ основаніи каждую сторону квадрата общаго планшета дѣлятъ на 4 равныя части и, соединивъ противоположныя точки, получаютъ 16 квадратовъ, которые должны быть помѣщены для съемки на 16 частныхъ планшетахъ. Если для съемки имѣются малыя доски такихъ же размѣровъ, но съ квадратами въ 12 дюймовъ, то при тѣхъ же остальныхъ данныхъ сторона квадрата такой доски содержала бы  $100 \times 12 = 1200$  саж. и при дѣленіи 4000 на 1200 получили бы: въ частномъ 3 и въ остаткѣ 400.

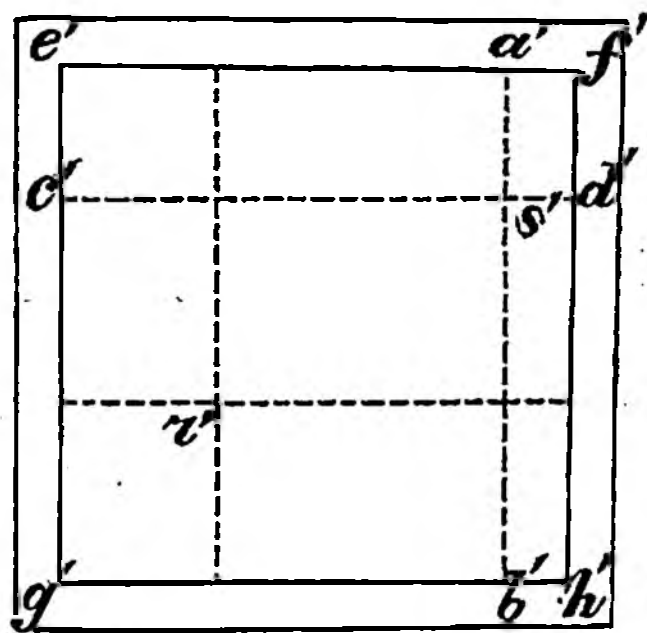
Черт. 380.



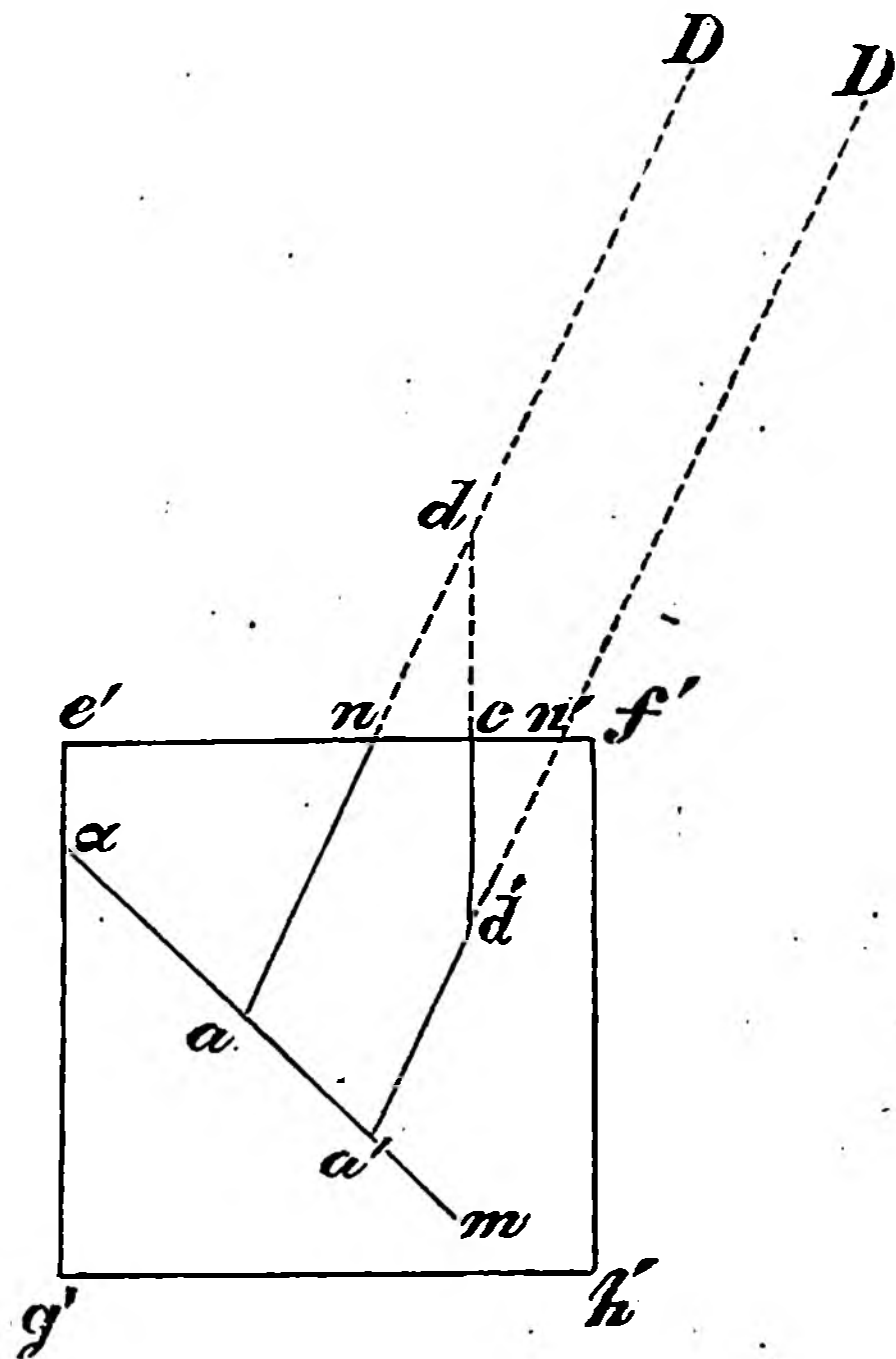
Въ этомъ случаѣ нужно общій планшетъ разбить также на 16 частныхъ, иначе сторону квадрата его также на равныя 4 части, но часть квадратовъ крайнихъ планшетовъ будетъ покрыта съемкой, а остальная часть ихъ останется пустою. Наконецъ если бы для съемки имѣлись доски съ сторонами квадратовъ въ 20 дюймовъ, то всѣ четыре стороны этого квадрата нужно раздѣлить пополамъ, такъ какъ число сажень въ сторонѣ такого квадрата есть  $100 \times 20 = 2000$ , что вдвое меньше 4000; если это нужно сдѣлать съ квадратомъ триангуляціи, нанесеніе которой описано было въ § 159, то, соединивъ противоположныя точки дѣленія сторонъ его, получимъ чертежъ 380, на которомъ квадратъ разбить на четыре равныя части. Послѣ этого на четырехъ отдѣльныхъ планшетахъ нужно построить квадраты со сторонами въ 20 дюймовъ и перенести въ нихъ точки, помѣщающіяся внутри соответственныхъ квадратовъ на общемъ планшетѣ, увеличивъ опредѣляющіе ихъ элементы до масштаба съемки. Объяснимъ это на примѣрѣ: положимъ,

что съ общаго планшета (черт. 380) нужно перенести точки  $r$  и  $s$  на частный планшет, на котором начерченъ квадратъ  $e'f'g'h'$  (черт. 381) со сторонами также въ 20 дюймовъ; при чемъ это перенесение надо сдѣлать въ масштабѣ вдвое болѣе крупномъ. Для перенесенія точки  $s$  проводятъ чрезъ нее на общемъ планшетѣ линіи  $ab$  и  $cd$ , параллельныя соотвѣтственнымъ сторонамъ  $fh$  и  $ef$ , и опредѣляютъ длины  $sa$  и  $sd$ . Послѣ этого на частномъ планшетѣ откладываютъ  $e'c' = f'd' = 2sa$  и  $a'f' = h'b' = 2sd$ . Соединивъ точки  $c'$  и  $d'$ ,  $a'$  и  $b'$  прямыми линіями,

Черт. 381.



Черт. 382.



въ пересѣченіи ихъ получится точка  $s'$ , соотвѣтствующая  $s$ . Для повѣрки перенесенія измѣряютъ на общемъ планшетѣ также  $sb$  и  $sc$ , и сравниваютъ ихъ съ  $s'b'$  и  $s'c'$  на частномъ планшетѣ; при чемъ  $s'b'$  должно быть равно  $2sb$ , а  $s'c' = 2sc$ , кромѣ того  $s'a' + s'b'$  и  $s'c' + s'd'$  должны равняться 20 дюймамъ. Точно также переносятъ и точку  $r$ . Окончательною повѣркою перенесенія обѣихъ точекъ можетъ служить то, что  $s'r'$  должно быть равно  $2sr$ .

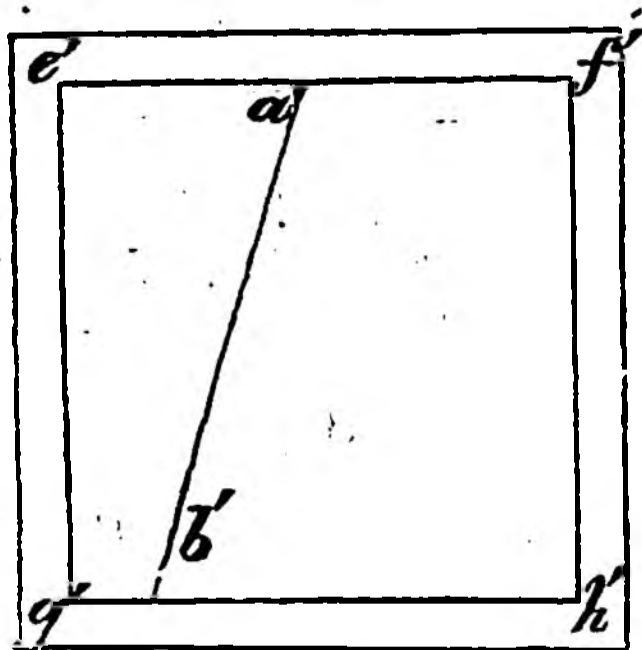
На частный планшет переносятся не только тѣ пункты, которые лежатъ внутри соотвѣтственнаго квадрата общаго планшета, но также и тѣ, которые помѣщаются внѣ его, вблизи сторонъ рамки. Если бы такой пунктъ, напр. колокольня, видимая со многихъ мѣстъ частнаго планшета, не могла помѣститься на немъ при построеніи квадрата, то лучше передвинуть нѣсколько этотъ квадратъ къ одному краю доски и дать пункту мѣсто. Если даже этотъ пунктъ, по значительной своей отдаленности, упадетъ и за край доски, то для пользованія имъ употребляютъ въ Швейцаріи слѣдующій приѣмъ: если  $e'f'h'g'$  (черт. 382) есть построенный на частномъ планшетѣ квадратъ, а  $d$  — изображеніе точки  $D$ , лежащей въ смежномъ квадратѣ, то наносятъ эту точку на планшетъ  $e'f'h'g'$  по измѣреннымъ на общемъ планшетѣ координатамъ  $cf'$  и  $cd$ , при чемъ длину  $cd$  откладываютъ на частномъ планшетѣ внутрь квадрата и получаютъ пунктъ  $d'$ , вмѣстѣ съ тѣмъ замѣчаютъ и точку  $c$ .

Чтобы воспользоваться пунктомъ  $d'$  для опредѣленія на планшетѣ ка-кого либо пункта  $a$ , на который сдѣлано изъ  $M$  направленіе  $ma$ , становятся съ мензулою въ опредѣляемую точку  $A$ , ориентируются по  $am$  и, засѣкая эту линію чрезъ  $d'$  на  $D$ , прочерчиваютъ  $a'd'n'$ ; затѣмъ откладываютъ  $cn = cn'$  и чрезъ полученную точку  $n$  снова визируютъ на  $D$ , чѣмъ и опредѣлится искомая точка  $a$ , ибо линіи  $a'n'$  и  $an$  можно принять на планшетѣ за линіи параллельныя.

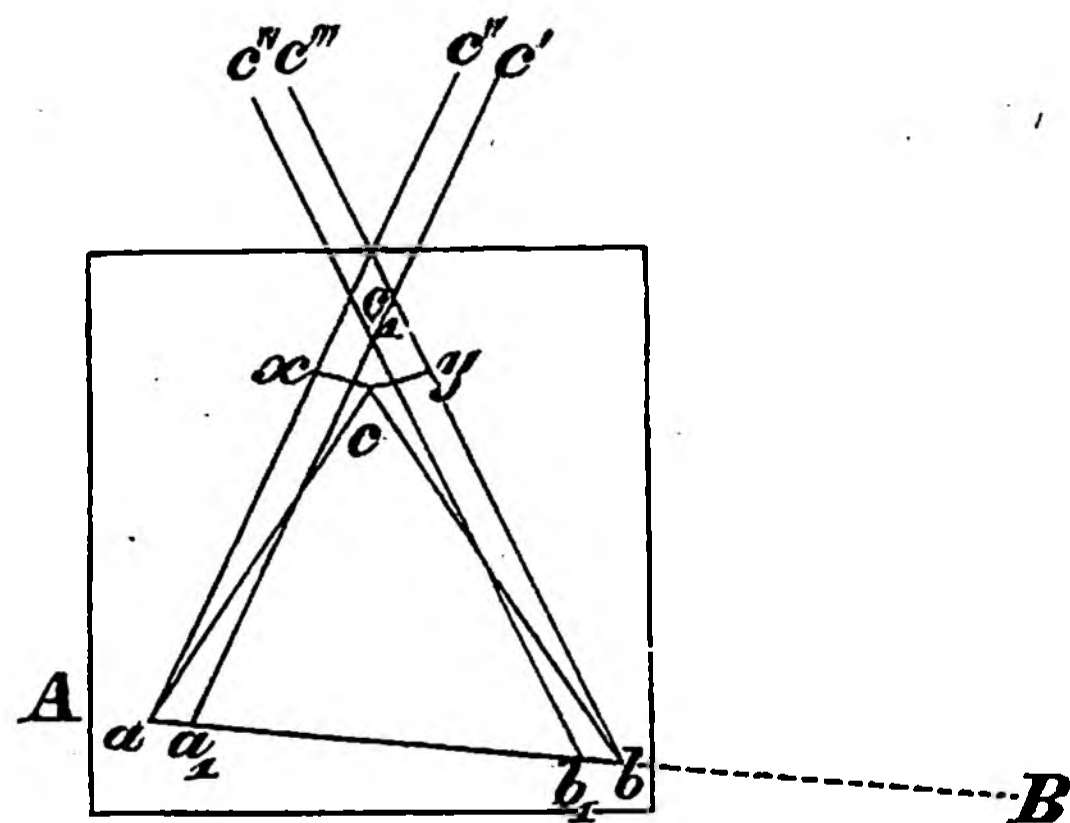
Кромѣ этого иногда на частный планшетъ переносятъ и направле-нія, чрезъ него проходящія и соединяющія пункты триангуляціи, лежа-щія на другихъ планшетахъ. Въ этомъ случаѣ измѣряютъ и переносятъ разстоянія точекъ пересѣченія направлений до концовъ той стороны квадрата, которую направленіе пересѣкаетъ. Такъ напр. для перене-сенія направленія  $a'b'$  (черт. 383) нужно перенести разстоянія  $a'e'$  и  $a'f'$ ,  $b'g'$  и  $b'h'$ .

Когда все что нужно перенесено съ общаго планшета на частныя, тогда на каждомъ изъ этихъ послѣднихъ составляется своя сѣть болѣе частыхъ пунктовъ; за базисъ такой сѣти, называемой *дополнительною*, принимается разстояніе между какими нибудь двумя перенесенными съ общаго планшета пунктами, а самое нанесеніе дополнительной сѣти на планшетъ производится такъ же, какъ и въ случаѣ участка, помѣ-щающагося на одномъ планшетѣ. Отсюда видно, что составитель три-ангуляціи снимаемаго округа долженъ заботиться о такой густотѣ

Черт. 383.



Черт. 384.



сѣти, чтобы на каждомъ частномъ планшетѣ лежало по крайней мѣрѣ два пункта; тѣмъ не менѣе могутъ встрѣтиться такія снаружи за-крытыя мѣстности, что это не можетъ быть выполнено и приходится ограничиваться только однимъ пунктомъ и направлениемъ или двумя направлениемъ.

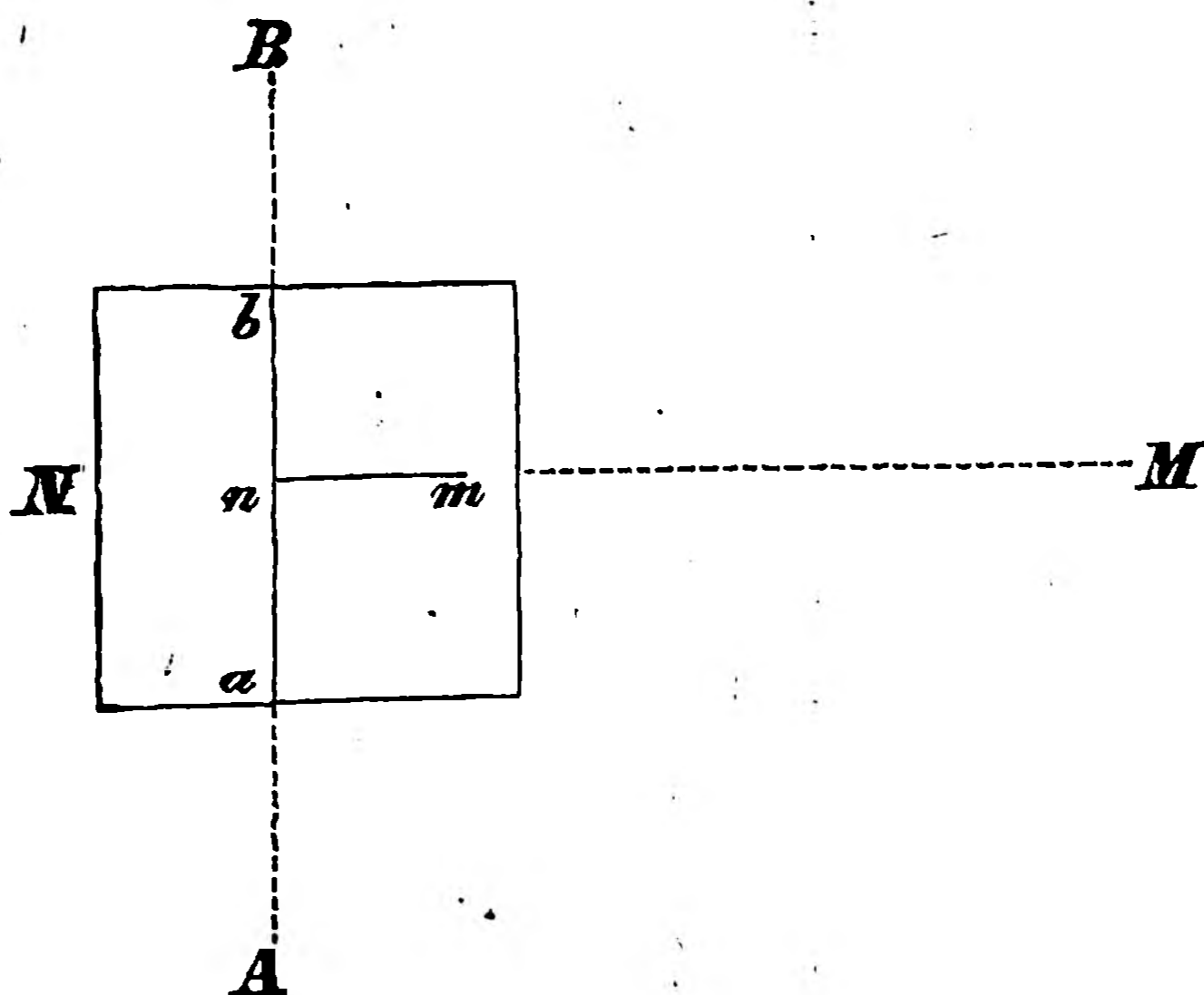
Прежде чѣмъ показать — какъ въ этихъ случаяхъ получить базисъ для дополнительной сѣти, рассмотримъ способъ распредѣленія неизбеж-ныхъ погрѣшностей перенесенія пунктовъ триангуляціи съ общаго листа на частныя. Это распредѣленіе возможно только тогда, когда на част-ный планшетъ перенесено не менѣе трехъ пунктовъ. При этомъ начи-наютъ съ того, что изъ всѣхъ имѣющихся на частномъ планшетѣ пунк-товъ выбираютъ три, одинъ изъ другаго видимые и наиболѣе другъ отъ друга удаленные:  $a$ ,  $b$  и  $c$  (черт. 384). Для обнаруженія неизбеж-

ныхъ погрѣшностей перенесенія и для равномернаго ихъ распредѣленія на эти три пункта становятся съ мензулою сначала въ  $A$  и, послѣ центрированія и приведенія планшета въ горизонтальное положеніе, ориентируютъ его по наиболѣе длинной линіи, напр. по  $ab$  на  $B$ . Затѣмъ ребро линейки визирнаго снаряда прикладываютъ къ  $a$  и визируютъ на  $C$ ; если при этомъ оно будетъ проходить чрезъ  $c$ , то уголъ  $cab$  начерченъ на планшетѣ точно; въ противномъ случаѣ прочерчиваютъ линію  $ac''$ , дѣлятъ пополамъ разстояніе  $xc$  этой линіи отъ  $c$  и, визируя чрезъ среднюю точку опять на  $C$ , прочерчиваютъ линію  $a_1c'$ . Послѣ этого переходятъ съ мензулою въ  $B$  и въ случаѣ неточности угла  $cba$  прочерчиваютъ такимъ же порядкомъ линію  $bc'''$ , а раздѣливъ пополамъ разстояніе  $yc$  линіи  $bc'''$  отъ  $c$ , визируютъ опять на  $C$  и прочерчиваютъ  $b_1c''$ . Вслѣдствіе всего этого вмѣсто имѣвшагося на планшетѣ треугольника  $abc$  получимъ  $a_1b_1c_1$ , вершины котораго передвинуты равномерно. Если  $xc$  и  $yc$  не превышаютъ  $\frac{1}{1000}$  доли отъ соотвѣтственныхъ длинъ  $ac$  и  $bc$ , то ихъ можно принимать за результаты неизбѣжныхъ погрѣшностей перенесенія; въ противномъ случаѣ это перенесеніе нужно повѣрить. По полученнымъ такимъ образомъ новымъ точкамъ  $a_1$ ,  $b_1$ ,  $c_1$  опредѣляютъ положеніе остальныхъ пунктовъ, помѣщающихся на томъ же частномъ планшетѣ.

Чаще встрѣчающіеся случаи полученія базиса дополнительной сѣти, когда на частный планшетъ перенесено менѣе двухъ пунктовъ, суть: 1) на частный планшетъ перенесена точка и направленіе, не проходящее чрезъ эту точку, 2) на планшетѣ имѣется точка и проходящее чрезъ нее направленіе и 3) имѣются только два направленія.

Когда на частный планшетъ перенесена точка  $m$  (черт. 385), соотвѣтствующая  $M$  на мѣстности, и направленіе  $ab$ , соотвѣтствующее линіи,

Черт. 385.

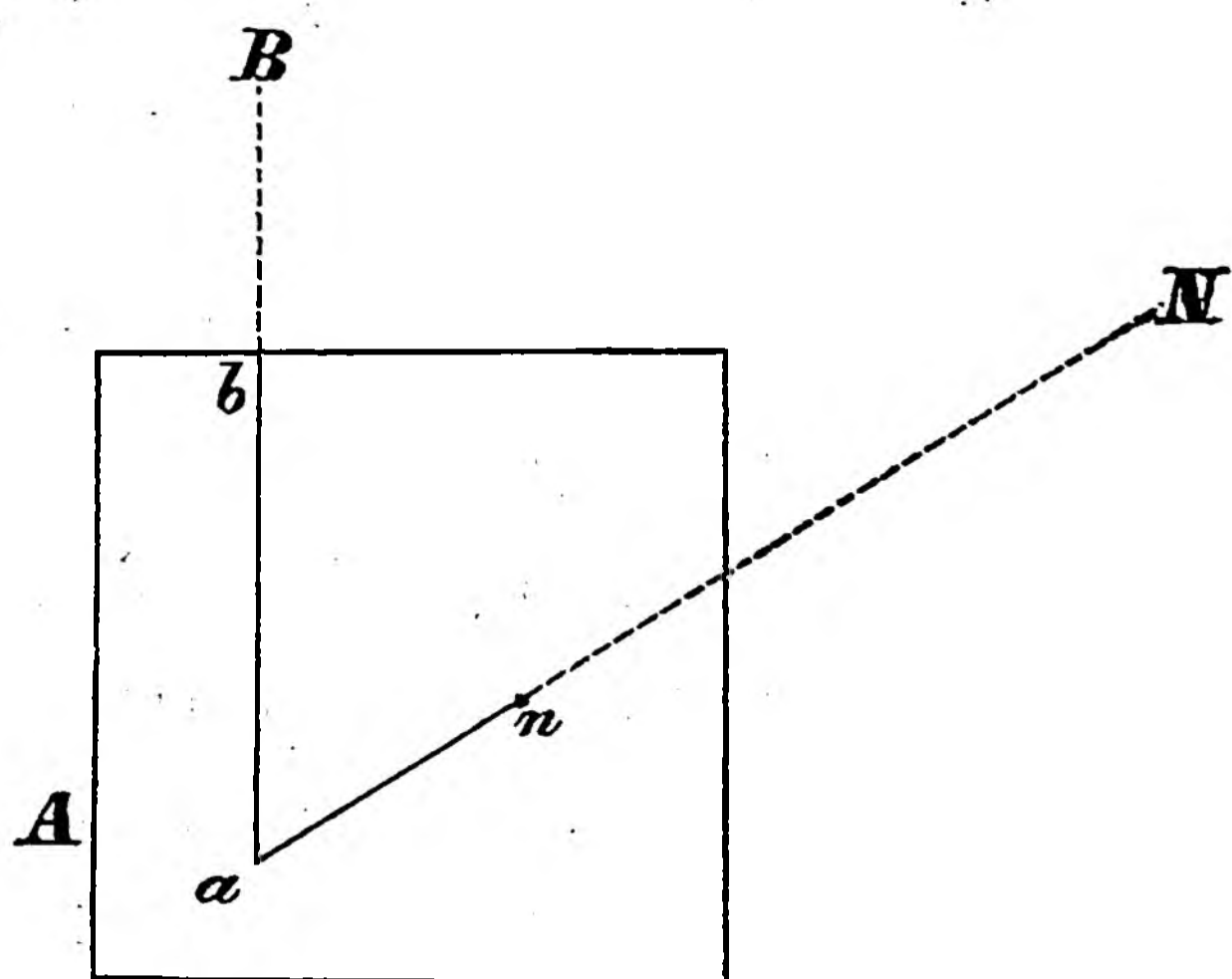


соединяющей точки  $A$  и  $B$  мѣстности, тогда выбираютъ на этомъ направленіи такую точку  $N$ , изъ которой была бы видна  $M$ , становятся на нее съ мензулою, ориентируютъ планшетъ по  $ab$  и обратною засѣчкою чрезъ  $m$  на  $M$  опредѣляютъ на планшетѣ положеніе точки стоя-

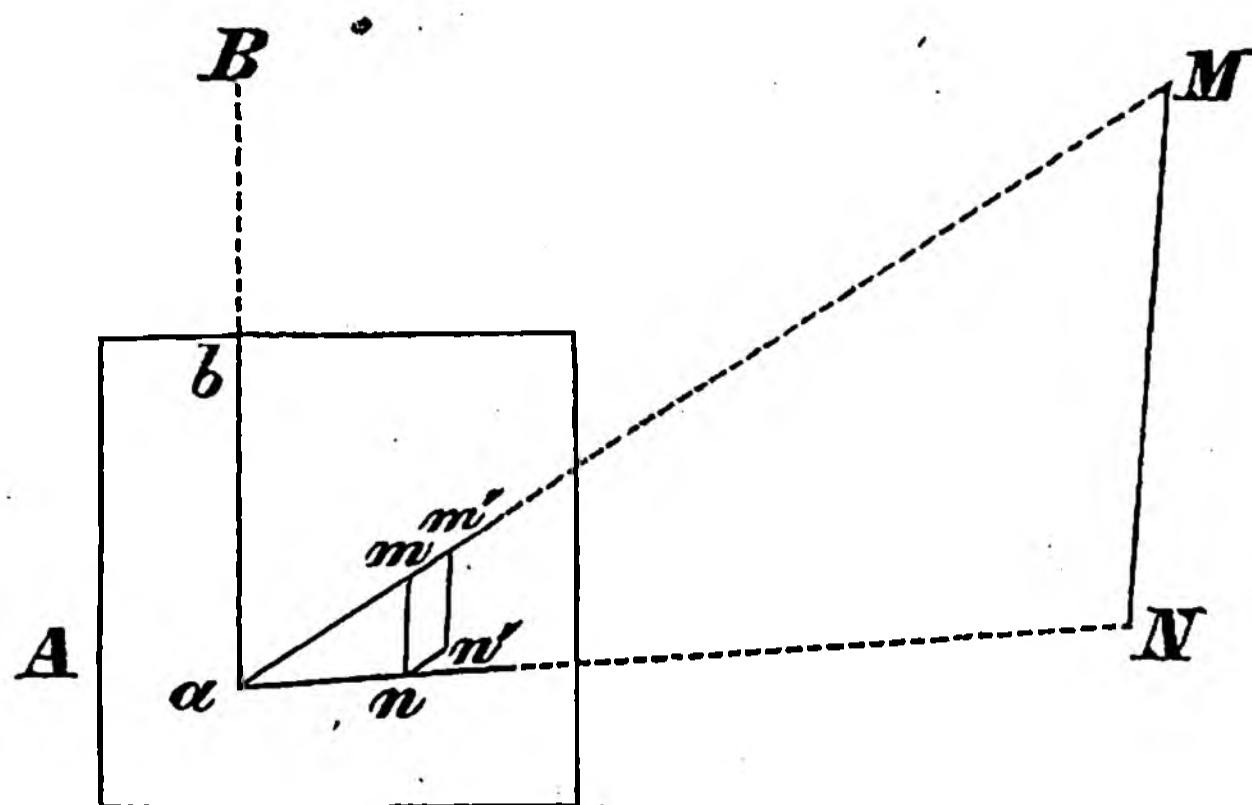
нія  $n$ . Имѣя теперь двѣ точки  $m$  и  $n$ , принимаютъ разстояніе ихъ за базисъ для дополнительной сѣти.

Если на частный планшетъ перенесена точка и одно (самое длинное) направленіе, чрезъ нее проходящее, то будемъ имѣть дѣло съ случаемъ, который допускаетъ четыре подраздѣленія; а именно: *a*) когда вставъ на данную точку  $A$  (черт. 386) съ инструментомъ можно и удобно промѣрить линію, соединяющую ее съ другою выбранною на мѣстности точкою  $N$ ; тогда стоя въ  $A$ , визируютъ на  $N$ , прочерчиваютъ линію, промѣряютъ отъ  $A$  до  $N$  нѣсколько разъ и, отложивъ эту

Черт. 386.

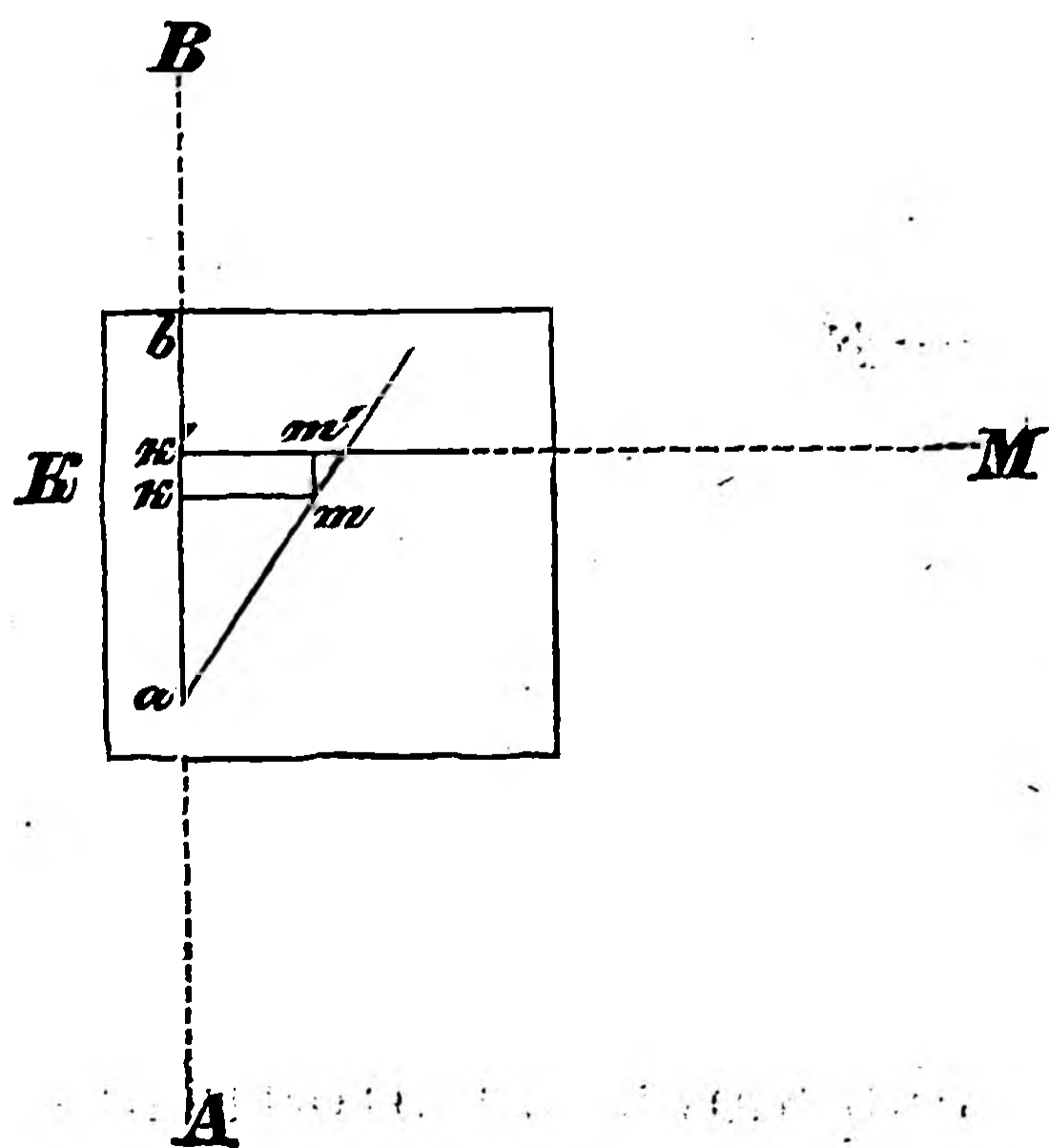


Черт. 387.



длину по прочерченной линіи, получаютъ базисъ  $an$  для дальнѣйшей работы. *b*) Если на данную точку  $A$  (черт. 387) хотя и можно встать, но неудобно выбрать на мѣстности линію, проходящую чрезъ эту точку и которую можно было бы измѣрить, то, выбравъ и измѣривъ на мѣстности какую нибудь линію  $MN$ , становятся съ мензулою на  $A$  и ориентировавъ планшетъ по данному направленію  $ab$ , визируютъ на  $M$  и  $N$ . Затѣмъ перейдя въ  $M$  и назначивъ на планшетѣ точку  $m'$ , приблизительно соответствующую  $M$ , ориентируются и дѣлаютъ чрезъ  $m'$  визируваніе на  $N$ , прочерчиваютъ линію и откладываютъ на ней

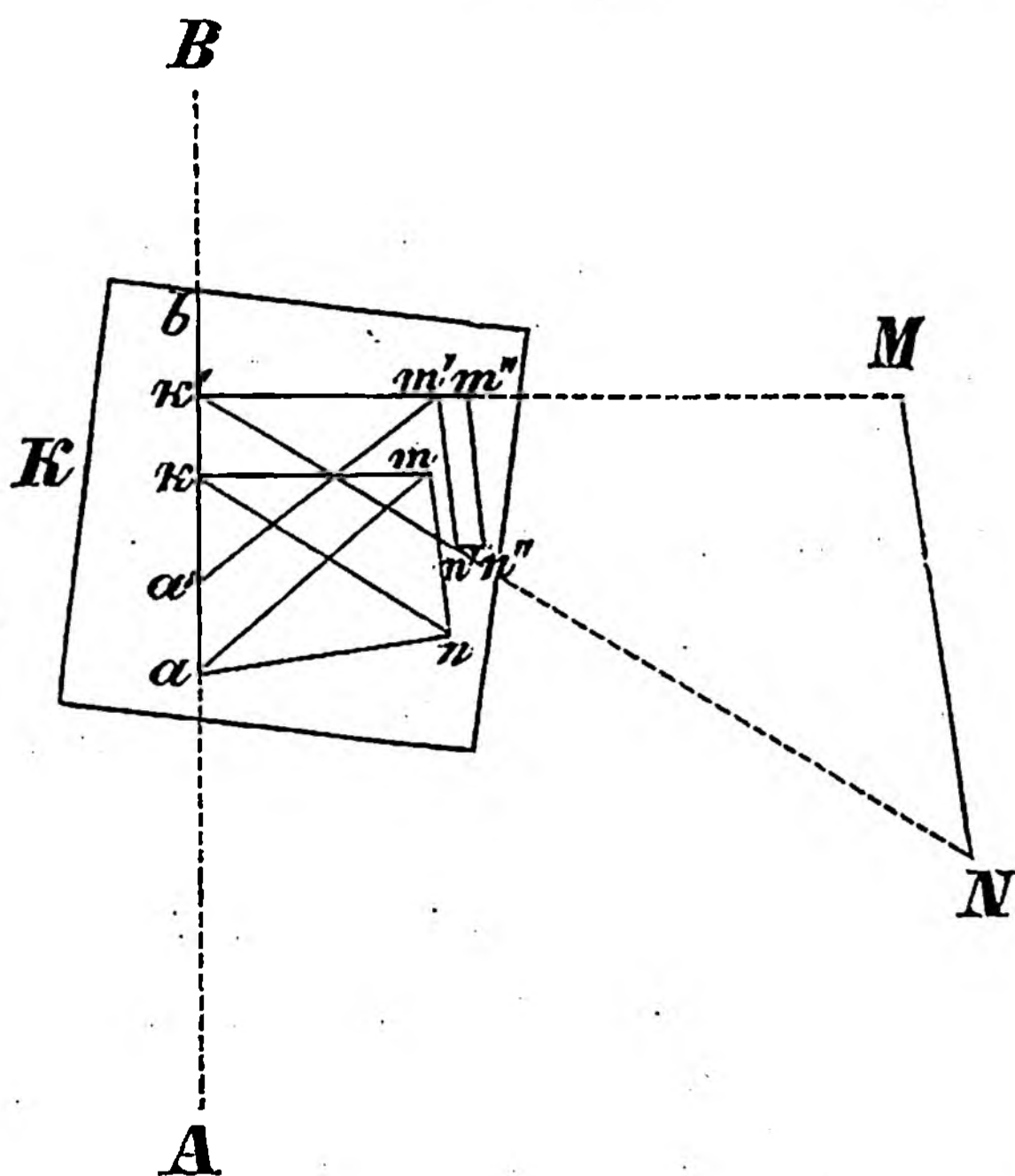
Черт. 388.



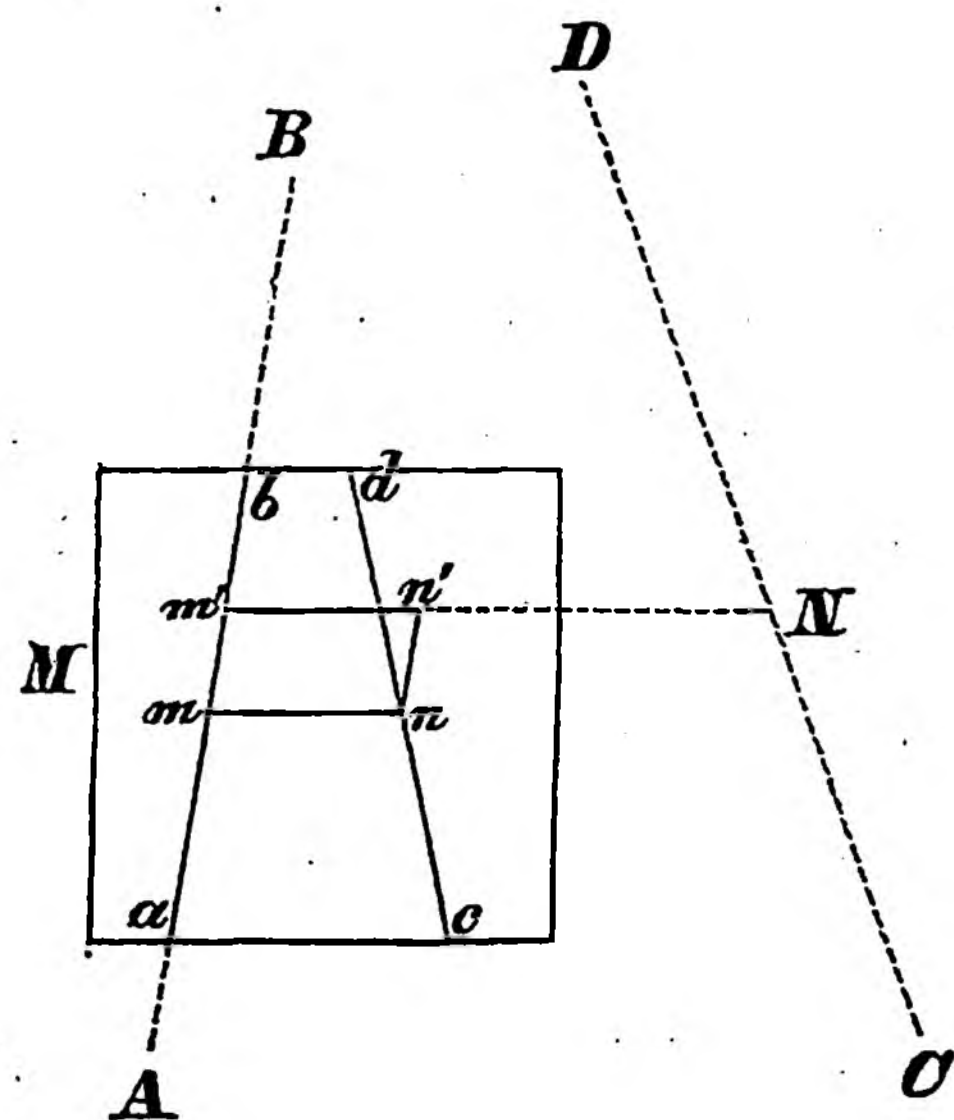
измѣренную длину базиса  $m'n'$ . Надо теперь линію  $m'n'$  вдвинуть въ раствореніе угла  $MaN$ , а для этого передвигаютъ ее параллельно самой себѣ, при чемъ поступаютъ такъ: проводятъ линію  $n'n$ , параллельную  $am'$ , и линію  $nm$ , параллельную линіи  $m'n'$ . Очевидно, что  $mn$ , выражая изображеніе линіи  $MN$  на мѣстности, можетъ служить базисомъ для дополнительной сѣти. *c*) Если точка  $A$  (черт. 388) есть какой нибудь естественный сигналъ, напр. колокольня, на который съ мензулою встать нельзя, то на линіи  $AB$  выбираютъ такую точку  $K$ , отъ которой удобно было бы промѣрить до выбранной точки  $M$ , и чрезъ точку  $K$ , назначенную на данномъ направленіи  $ab$  и приблизи-

тельно соответствующую точку стоянія  $K$ , дѣлаютъ визированіе на  $M$ . Далѣе опредѣляютъ длину  $KM$  и откладываютъ ее до точки  $m'$ . Послѣ этого переходятъ съ мензулою въ  $M$ , ориентируются по  $m'k'$  и, визируя чрезъ  $a$  на  $A$ , прочерчиваютъ линію  $am$ , которая говоря вообще не пройдетъ чрезъ  $m'$ , потому что  $k'$  выбрано приблизительно. Остается передвинуть линію  $k'm'$  параллельно самой себѣ; для чего проводятъ  $m't$  параллельно къ  $ab$  и  $mk$  параллельно къ  $m'k'$ . Линія  $mk$  можетъ служить базисомъ. *d)* Если бы при недоступности точки  $A$  (черт. 389) нельзя было выбрать и линію  $KM$ , удобную для измѣренія, то, поставивъ мензулу въ  $K$  и назначивъ приблизительную точку  $k'$ , визируютъ чрезъ  $k'$  на  $M$  и  $N$  — концы выбраннаго базиса, прочерчиваютъ линіи  $k'm'$  и  $k'n'$ , переходятъ съ мензулою въ  $M$ , назначаютъ приблизительно  $m''$ , соответствующую точку  $M$ , и визируютъ чрезъ  $m''$  на  $N$ ; послѣ чего, измѣривъ на мѣстности  $MN$  и отложивъ ее длину отъ  $m''$  до  $n''$ ,

Черт. 389.



Черт. 390.



передвигаютъ линію  $m''n''$  параллельно самой себѣ и получаютъ линію  $m'n'$ . Теперь, хотя точки  $k'$ ,  $m'$  и  $n'$  имѣютъ на планшетѣ вѣрное положеніе между собою, но онѣ невѣрны относительно  $a$ , ибо  $k''$  назначено приблизительно. Чтобы опредѣлить эти точки вѣрно и относительно  $a$ , дѣлаютъ визированіе чрезъ  $m'$  на  $A$  и полученную длину  $a'm'$  откладываютъ на направленіи  $am$ , которое получается отъ визирования чрезъ  $a$  на  $A$ ; затѣмъ визируя чрезъ  $m$  на  $K$  и  $N$  и отложивъ на послѣднемъ направленіи длину измѣреннаго базиса  $MN$ , получаютъ точки  $k$  и  $n$ . Вслѣдствіе всего этого на планшетѣ будемъ имѣть окончательно точки  $a$ ,  $k$ ,  $m$  и  $n$ , пользуясь которыми можно уже приступить къ составленію и нанесенію дополнительной сѣти.

Предположимъ теперь, что на частный планшетъ перенесено съ общаго только два направленія  $ab$  и  $cd$  (черт. 390), соответствующія  $AB$  и  $CD$ . Тогда выбираютъ на мѣстности на этихъ направленіяхъ такія двѣ точки  $M$  и  $N$ , разстояніе между которыми могло бы быть принято за базисъ для дополнительной сѣти. Становятся съ мензулою въ одну изъ нихъ, напр.  $M$ , назначаютъ на планшетѣ приблизительно



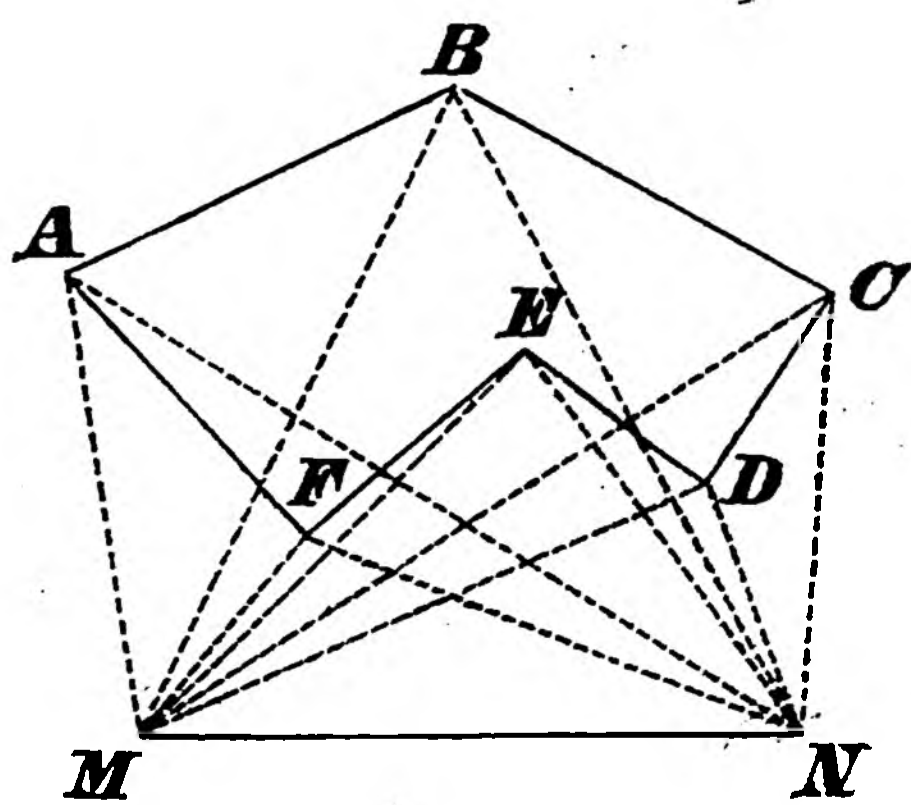
ея мѣсто въ  $m'$ , ориентируютъ планшетъ и визируютъ чрезъ  $m'$  на  $N$ , промѣряютъ линію  $MN$  и откладываютъ ея длину на прочерченномъ направленіи отъ  $m'$  до  $n'$ . Наконецъ передвинувъ на планшетѣ линію  $m'n'$  параллельно самой себѣ такъ, чтобы она помѣстилась между данными направленіями  $ab$  и  $cd$ , получаютъ окончательное положеніе базиса  $mn$ .

*Примѣчаніе.* Уменьшать масштабъ общей сѣтки дозволяется не болѣе какъ въ три раза, ибо при перенесеніи пунктовъ съ общаго планшета на частные во столько же разъ будутъ увеличены и неизбѣжныя погрѣшности измѣренія линій на планѣ, и триангуляція не достигнетъ цѣли — дать вѣрныя опорныя точки для съемки подробностей. Если однако снимаемый участокъ на столько великъ, что требуется большое уменьшеніе масштаба общей сѣтки, то это затрудненіе обходится соединеніемъ обоихъ указанныхъ въ § 160 способовъ нанесенія триангуляціи, т. е. уменьшивъ масштабъ сѣтки все таки не болѣе какъ въ три раза, снимаютъ ее на нѣсколькихъ планшетахъ, которые затѣмъ и разбиваются на частные для съемки.

**§ 162.** Когда триангуляція составлена и нанесена на планшетъ, тогда приступаютъ къ съемкѣ контуровъ. При этомъ смотря по условіямъ, представляемымъ мѣстностью, и удобству употребляютъ слѣдующія четыре способа: способъ засѣчекъ, полярный, обхода и промѣровъ съ вѣхи на вѣху.

*Способъ засѣчекъ* основанъ на опредѣленіи третьей точки по двумъ даннымъ на планшетѣ. Если снимаемый контуръ имѣетъ кругловатую форму, то удобнѣе если линія, соединяющая на планшетѣ двѣ данныя точки и служащая базисомъ для съемки контура, лежитъ внутри его; въ случаѣ же контура продолговатаго базису удобнѣе находиться внѣ его. Положимъ надо снять прямолинейный контуръ  $ABCDEF$  (черт. 391)

Черт. 391.



относительно базиса  $MN$ ; тогда съемку располагаютъ въ такомъ порядкѣ: поставивъ мензулу точкою  $m$  надъ  $M$ , приводятъ планшетъ въ горизонтальное положеніе и ориентируютъ его по линіи  $MN$ . Выставляютъ вѣху послѣдовательно въ вершинахъ:  $A, B, C, D, E$  и  $F$  многоугольника, дѣлаютъ на нее чрезъ  $m$  визированіе и прочерчиваютъ линіи. Затѣмъ переходятъ съ мензулою въ  $N$  и, установивъ ее надлежащимъ образомъ точкою  $n$  надъ  $N$ , ориентируютъ на  $M$ ; визируютъ чрезъ  $n$  по порядку на тѣ же точки контура и засѣкаютъ линіи, прочерченныя при визированіи изъ  $M$  на  $A, B, \dots, F$ . Понятно, что соединеніе этихъ точекъ пересѣченій на планшетѣ между собою въ той же послѣдовательности какъ и на мѣстности дастъ фигуру, подобную контуру  $ABC\dots F$ .

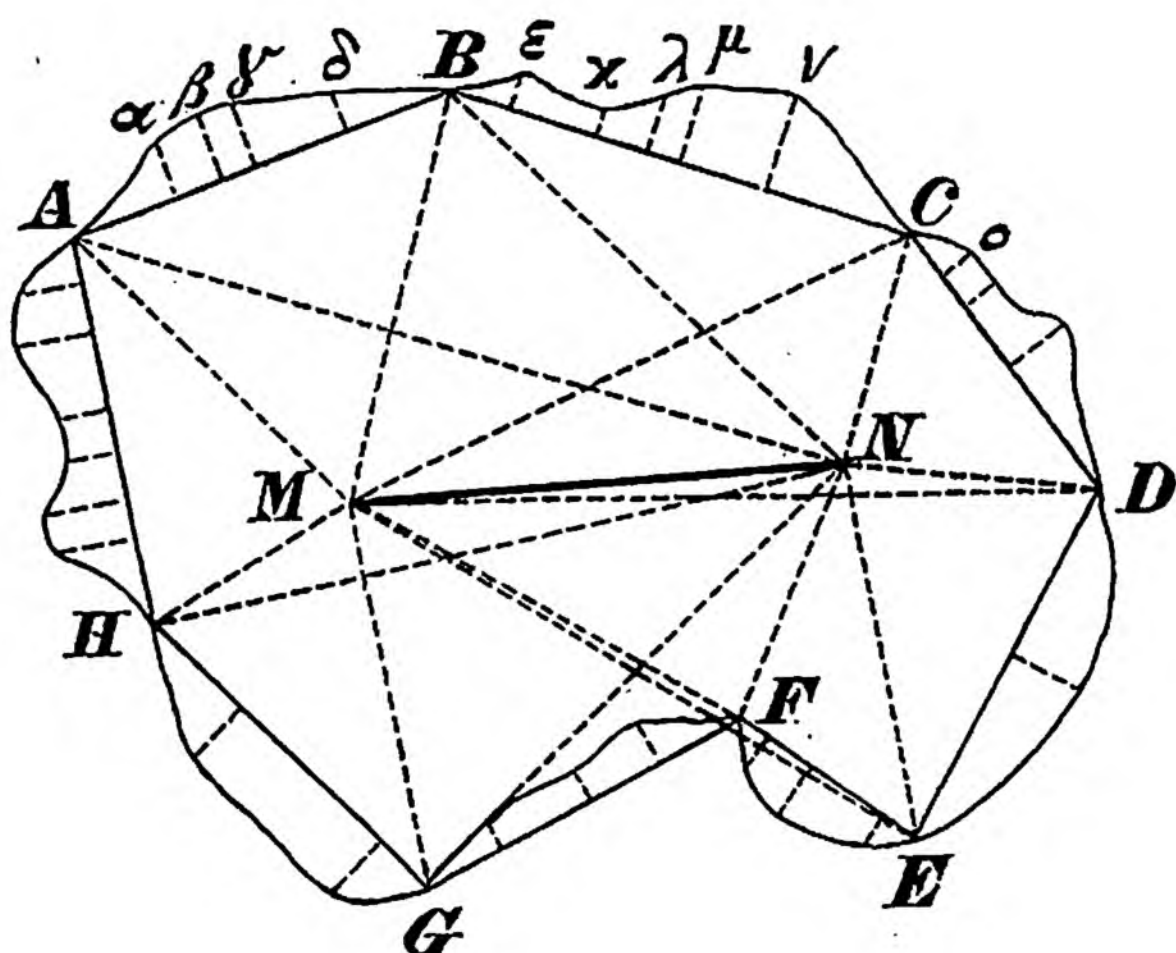
Если съемкѣ подлежитъ криволинейный контуръ  $Aa\beta\gamma\delta B\epsilon\zeta\eta\dots C\dots D\dots E\dots F\dots G\dots H\dots A$  (черт. 392), то на главныхъ его изгибахъ вы-

бираютъ точки  $A, B, C, \dots, H$ , которыя опредѣляютъ засѣчками съ данныхъ точекъ  $M$  и  $N$ , а переходя отъ одной выбранной точки къ другой, промѣриваютъ цѣпью разстоянія  $AB, BC, \dots, HA$  и, опуская перпендикуляры на эти линіи изъ мелкихъ изгибовъ контура, опредѣляютъ относительно ихъ положенія точекъ  $\alpha, \beta, \gamma, \dots, \varepsilon, \kappa, \lambda, \dots$ , которыми контуръ разбитъ на мелкія части, принимаемыя за прямыя линіи. При этомъ съемщикъ ведетъ непремѣнно абрисъ, по которому сейчасъ же послѣ обхода всего контура зарисовываются всѣ эти подробности на планшетъ.

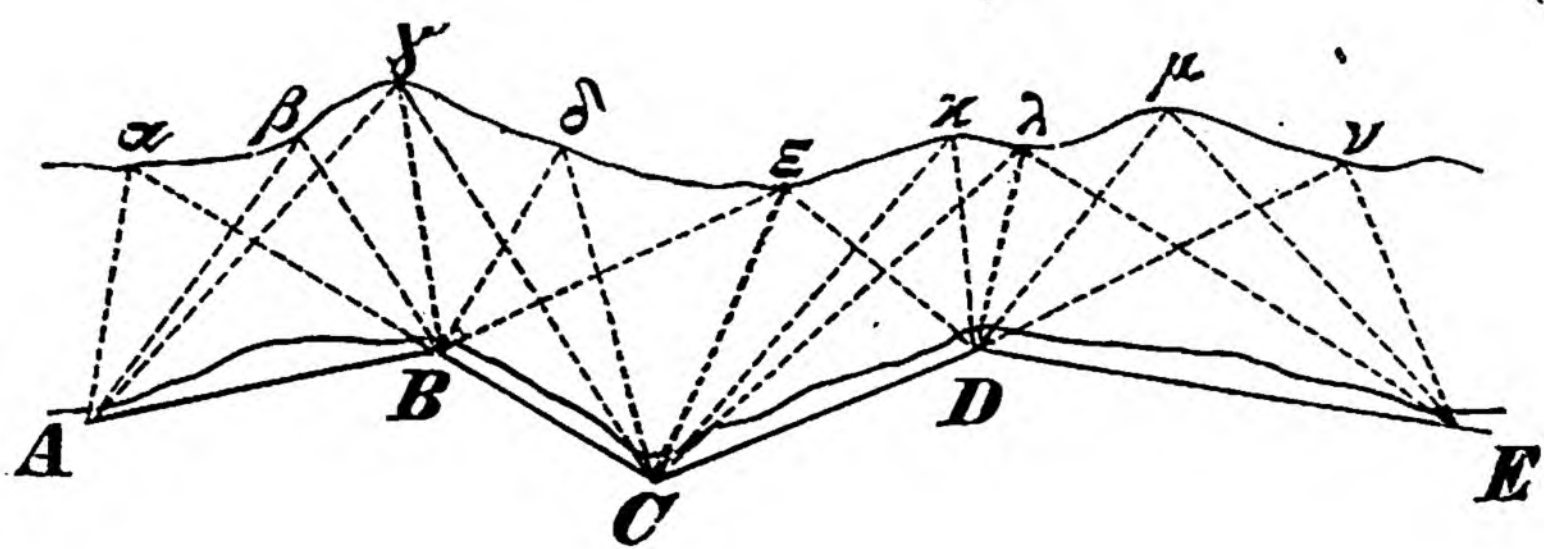
Если какая либо точка была засѣчена съ линіи  $MN$  подъ очень острымъ или тупымъ угломъ, напр.  $D$ , то по окончаніи дѣйствія слѣдуетъ перейти въ нее съ мензулою и опредѣлить ее засѣчкою обратною на другія хорошо опредѣленныя точки, съ которыхъ она получится подъ болѣе выгодными углами, какъ напр. на  $F$  или  $C$ .

Если внутри снимаемаго контура измѣренія невозможны, то точки  $A, B, C, \dots, H$  выбираются такъ, чтобы линіи ихъ соединяющія проходили внѣ его, какъ напр. линія  $FG$ . Въ этомъ случаѣ придется выбрать точки  $M$  и  $N$  внѣ контура.

Черт. 392.



Черт. 393.



Если контуръ снимается отдѣльно, независимо отъ другихъ, то мѣсто для базиса  $MN$  выбирается на планшетѣ такъ, чтобы контуръ могъ помѣститься на планшетѣ.

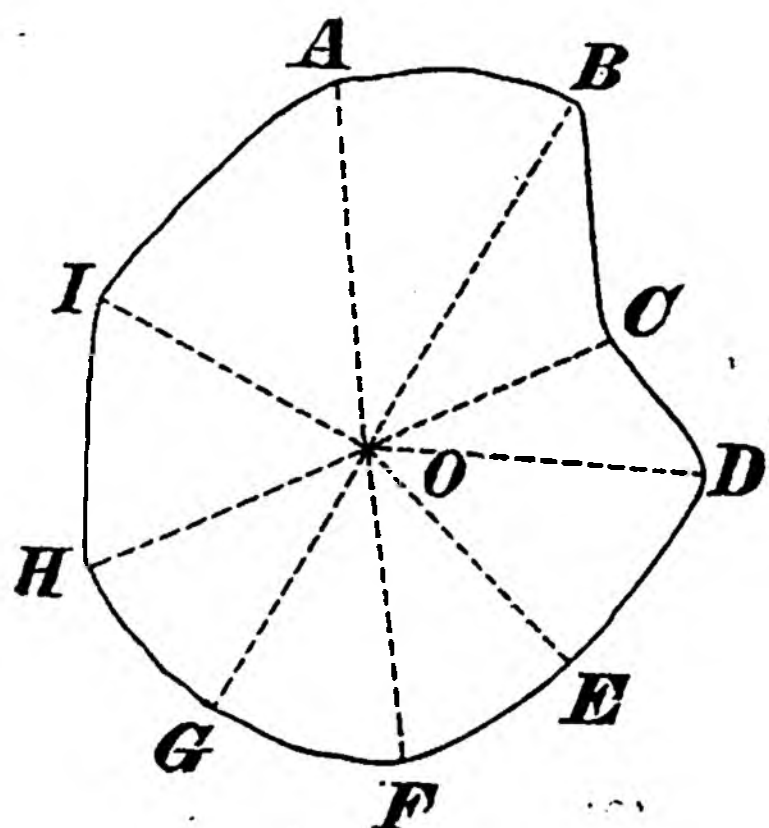
При съемкѣ рѣки на одномъ изъ береговъ берутъ точки  $A, B, C, \dots$  (черт. 393), лежащія на изгибахъ ея и опредѣляютъ эти точки или по тремъ даннымъ, или какъ сейчасъ будетъ указано. Послѣ того становясь въ нихъ послѣдовательно съ мензулою, ориентируютъ планшетъ и опредѣляютъ засѣчками точки  $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \dots$ , характеризующія противоположный берегъ. При этомъ для увѣренности въ правильномъ ходѣ работы каждая изъ точекъ противоположнаго берега, послѣ опредѣленія которой мензула переносится, опредѣляется пересѣченіемъ трехъ направленій, какъ напр. точки:  $\gamma, \varepsilon, \lambda$ . Точки  $B, C, D, \dots$  можно опредѣлить постепенно и такъ: пусть  $A$  опредѣлено какимъ либо путемъ или же пусть она на планшетѣ дана; тогда становятся въ нее съ мензулою и, ориентировавъ планшетъ, визируютъ на  $\alpha, \beta, \gamma$  и  $B$ , въ которую предполагаютъ перенести мензулу, промѣриваютъ  $AB$  и откладываютъ ея

длину на прочерченной линіи; затѣмъ переносятъ мензулу въ  $B$ , ориентируются на  $A$ , засѣкаютъ точки  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и визируютъ на  $\delta$ ,  $\epsilon$  и  $C$ , изъ которыхъ послѣдняя будетъ точкою стоянія мензулы, промѣряютъ  $BC$  и, откладывая ея длину на соответственномъ направленіи, получаютъ на планшетѣ точку, соответствующую  $C$ . И такъ продолжаютъ далѣе, отнюдь не упуская изъ вида, для уменьшенія накопленія неизбежныхъ погрѣшностей, промѣряютъ точки стоянія на точки триангуляціи.

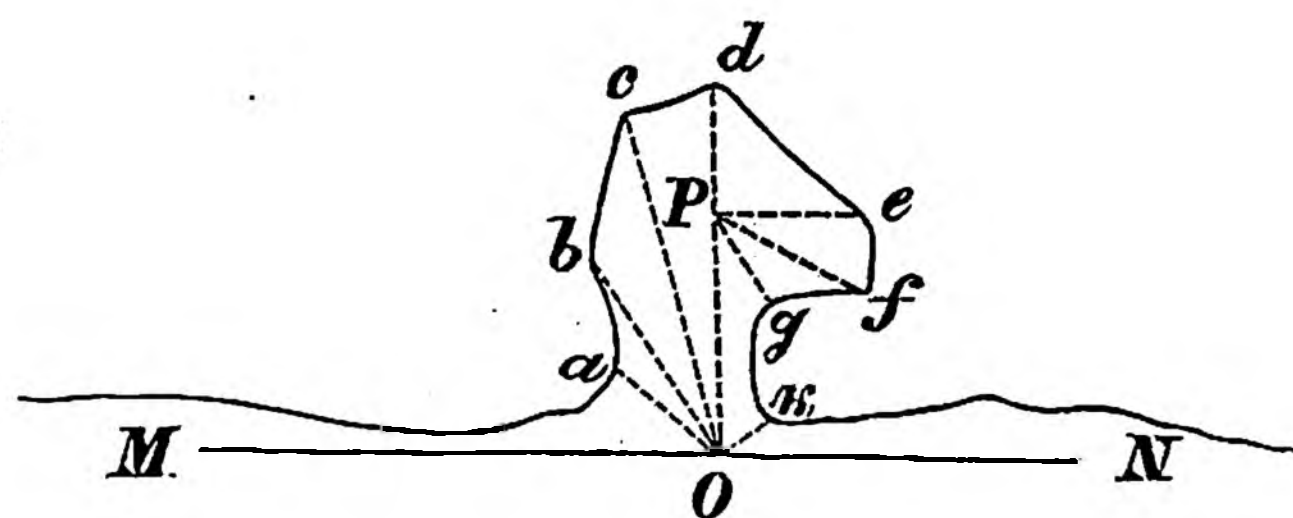
Изъ изложеннаго не трудно усмотрѣть, что способъ съемки засѣчками требуетъ мѣстности открытой. Его возможно примѣнять даже и тогда, когда контуръ не допускаетъ внутри измѣреній. А потому этимъ способомъ удобно снимать пашню, огородъ, лугъ, прудь, рѣку и т. п.

**§ 163.** *Съемка полярнымъ способомъ* производится изъ одной точки стоянія и состоитъ въ нанесеніи на планшетъ направленій на главнѣйшіе изгибы контура и въ отложеніи на этихъ направленіяхъ ихъ длинъ. Подробности этого способа слѣдующія: устанавливаютъ мензулу надлежащимъ образомъ надъ точкою  $O$  (черт. 394), визируютъ через  $o$  послѣдовательно на  $A, B, C, \dots, I$  и прочерчиваютъ линіи; одновременно опредѣляютъ разстоянія  $OA, OB, OC, \dots, OI$ , которыя откладываютъ на соответственныхъ прочерченныхъ направленіяхъ и получаютъ вслѣдствіе этого на планшетѣ фигуру, подобную контуру мѣстности.

Черт. 394.



Черт. 395.



Этотъ способъ имѣетъ особое значеніе въ томъ случаѣ, когда съемщикъ располагаетъ кипрегелемъ - дальномѣромъ съ рейкою. Очевидно, что онъ выгоденъ по отношенію къ быстротѣ. Опредѣленіе разстояній дальномѣромъ при употребленіи мензулы достаточно для масштабовъ 100 и болѣе сажень въ дюймъ, ибо точность этого масштаба есть 0,5, а предѣльная ошибка дальномѣровъ лучшихъ системъ (Эртеля и Порро) есть, какъ сказано въ § 120,  $\frac{1}{125}$  что составляетъ для 100 саж., т. е. для средней длины линіи, опредѣляемой дальномѣромъ, величину 0,8 саж. (мало отличающуюся отъ 0,5 саж.). При масштабахъ же менѣе 100 сажень въ дюймъ опредѣленія дальномѣромъ могутъ значительно отличаться отъ дѣйствительныхъ длинъ линій, полученныхъ болѣе точнымъ снарядомъ, хотя бы напр. цѣпью.

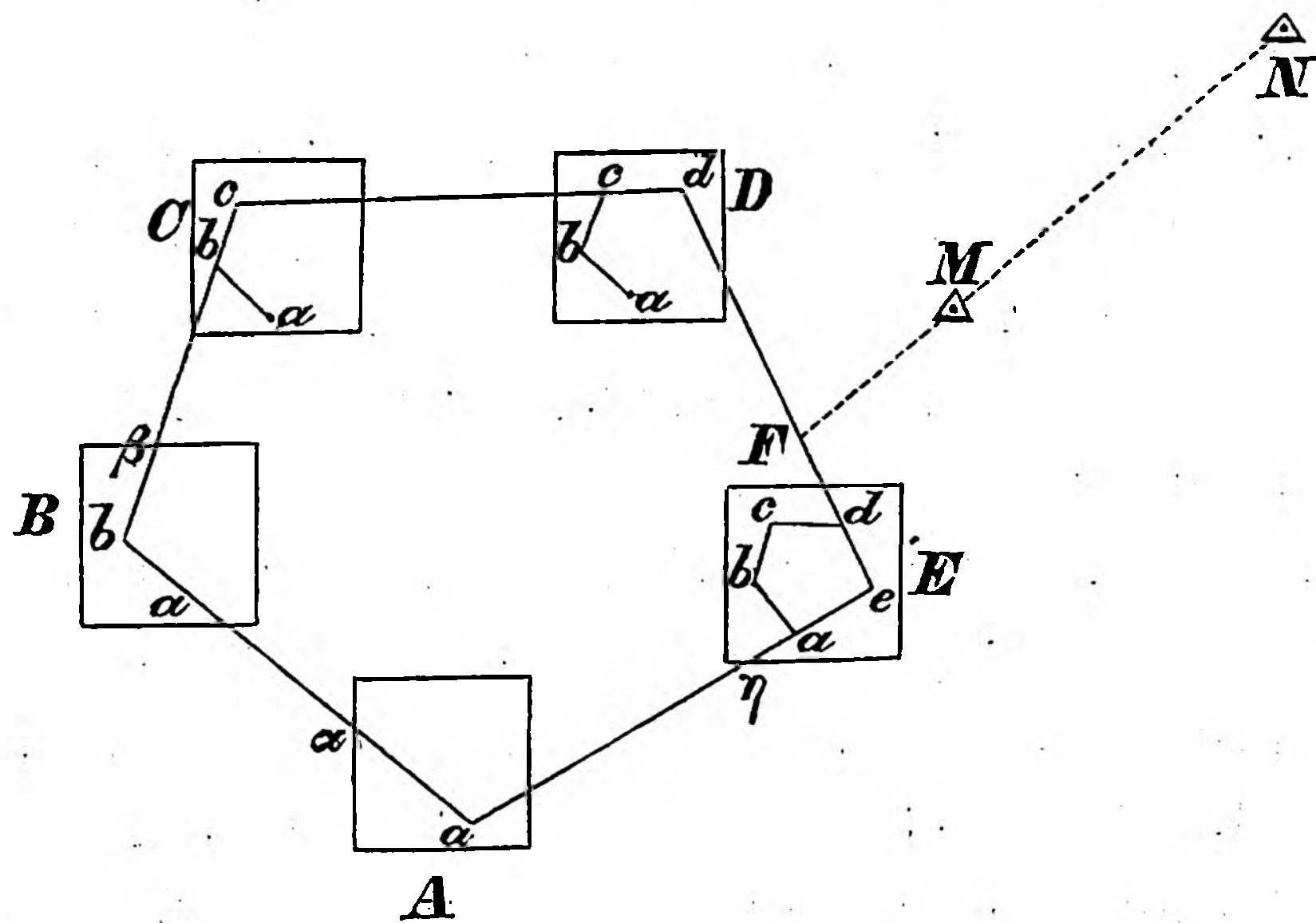
Способъ полярный съ большимъ удобствомъ примѣняется также и тогда, когда надо изобразить большіе изгибы контуровъ, а мѣстныя

препятствія не дозволяютъ опредѣлить точки такого изгиба по способу засѣчекъ. Напр., если при съемкѣ контура измѣрялась какая либо линия  $MN$  (черт. 395) и дойдя до точки  $O$  обнаружился изгибъ  $abcdefgk$ , то для изображенія его на планшетѣ становятся съ мензулою въ  $O$  и изъ нея опредѣляютъ полярнымъ способомъ точки  $a, b, c, d$  и  $k$ , а затѣмъ для опредѣленія части  $defg$  изгиба переносятъ мензулу въ точку  $P$ , лежащую на направленіи  $Od$  въ разстояніи  $OP$ , измѣренномъ тѣмъ же дальномѣромъ, и изъ этой точки опредѣляютъ уже  $e, f$  и  $g$ .

Вслѣдствіе изложеннаго способъ полярный хотя тоже требуетъ мѣстности открытой, но имѣетъ преимущество предъ способомъ засѣчекъ, состоящее въ томъ, что рѣшаетъ вопросомъ *одною* постановкою мензулы.

§ 164. *Способъ обхода* употребляется для съемки лѣса, кустарника, дороги или ручья, пролегающихъ въ лѣсу, и вообще контура закрытаго. Онъ основанъ на томъ, что съемщикъ, слѣдуя по контуру, опредѣляетъ положеніе каждой послѣдующей точки стоянія направленіемъ и промѣромъ отъ точки предыдущей. Положимъ, что для съемки контура кустарника точка  $A$  (черт. 396) на планшетѣ дана; если же этотъ контуръ долженъ быть снятъ отдѣльно, независимо отъ другихъ, то точка  $a$  выбирается на планшетѣ съемщикомъ такъ, чтобы весь контуръ по изображенію могъ помѣститься на планшетѣ. Вставъ съ мензулою въ эту точку, съемщикъ ориентируетъ планшетъ или по имѣющимся на немъ

Черт. 396.



точкамъ, или въ крайнемъ случаѣ по буссоли, визируетъ вдоль контура на вѣху  $B$  и прочерчиваетъ линію  $ax$ . Затѣмъ снимаетъ мензулу, ставитъ въ  $A$  вѣху, измѣряетъ цѣпью линію  $AB$  и опущеніемъ на нее перпендикуляровъ снимаетъ точки поворота контура; при чемъ ведетъ абрисъ. Придя въ  $B$ , съемщикъ откладываетъ по масштабу линію  $ab$ , имѣющую то же число сажень, что и  $AB$ , устанавливаетъ мензулу въ  $B$  надлежащимъ образомъ, ориентируетъ планшетъ по  $ba$  на  $A$ , визируетъ вдоль контура на вновь избранную точку  $C$ , прочерчиваетъ линію  $b\beta$ , снявъ мензулу ставитъ въ  $B$  вѣху и промѣряетъ  $BC$ , опуская на нее перпендикуляры изъ главныхъ изгибовъ контура. Поступая такимъ же образомъ, съемщикъ доходитъ до  $E$ , гдѣ, поставя мензулу и ориен-

тировавъ планшетъ по  $ed$  на  $D$ , визируетъ чрезъ  $e$  на  $A$  и прочерчиваетъ линію  $e\eta$ . Послѣ этого измѣряетъ  $EA$  и откладываетъ ее по масштабу на  $e\eta$ .

Если бы съемка производилась съ совершенною точностью, то направление  $e\eta$  должно было бы проходить чрезъ начальную точку  $a$  и конецъ линіи  $EA$ , взятой по масштабу, долженъ былъ бы совпасть съ  $a$ ; но вслѣдствіе неизбѣжныхъ погрѣшностей, сдѣланныхъ при построеніи угловъ на планшетѣ, а также и при измѣреніи и нанесеніи линій конечная точка обхода никогда, говоря вообще, не совпадетъ съ начальною. Разстояніе ея отъ этой послѣдней, представляющее *невязку* фигуры, уничтожается по способу параллельныхъ линій, изложенному въ § 134 при способѣ съемки фигуръ обходомъ посредствомъ экера, убѣдившись предварительно въ томъ, что полученная невязка можетъ быть допущена; въ противномъ случаѣ надо по § 135 обнаружить тотъ уголъ или ту сторону многоугольника, въ которыхъ слѣдуетъ предполагать грубую ошибку. За высшій предѣлъ невязки принимается при этомъ способѣ  $\frac{1}{100}$  периметра.

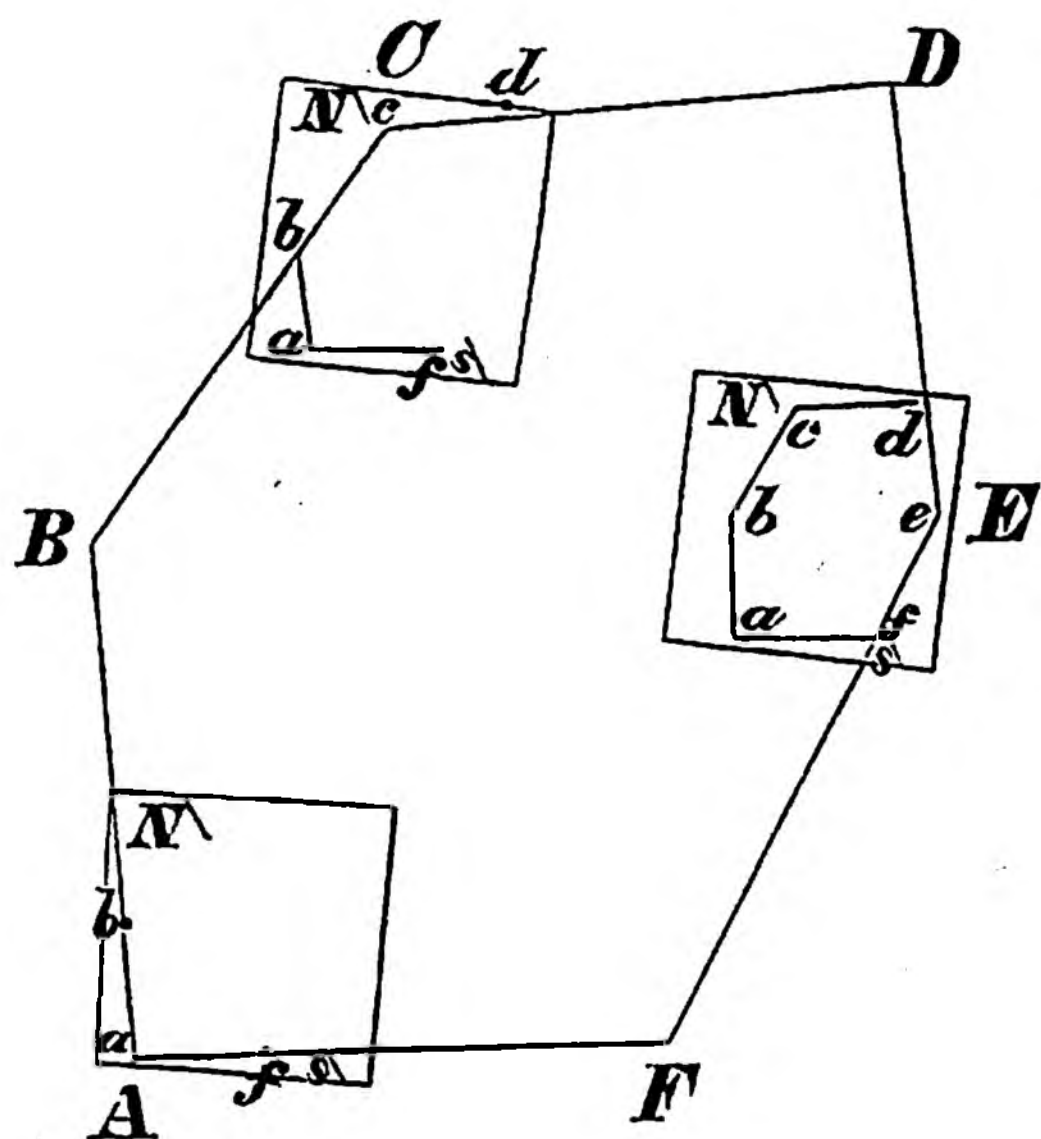
Для устраненія сильнаго накопленія погрѣшностей нужно заботиться о полученіи длинныхъ линій ориентированія, для чего прочерчивать направленія на будущія точки стоянія и за сторонами рамки планшета; далѣе если съ какой нибудь точки стоянія будетъ виденъ одинъ или, еще лучше, нѣсколько пунктовъ триангуляціи, то необходимо провѣрять точку стоянія обратною засѣчкою или вновь опредѣлять ее по тремъ даннымъ и, уничтоживъ оказавшуюся при этомъ допускаемую невязку, продолжать обходъ; наконецъ для устраненія накопленія погрѣшностей въ *одну* сторону полезно обходить первую половину контура такъ, чтобы онъ былъ вправо, а потомъ, вернувшись къ той же начальной точкѣ обхода, обходить другую половину, держа контуръ влѣво. Вообще при употребленіи этого способа нужно пользоваться всѣмъ, что можетъ уменьшить накопленіе погрѣшностей; ибо ошибка въ положеніи какой нибудь точки передается при этомъ способѣ цѣликомъ на точки послѣдующія. Нельзя пренебрегать также и повѣркою по створамъ предметовъ. Это производится такъ: положимъ, что  $M$  и  $N$  суть данныя на планшетѣ точки; тогда при измѣреніи на мѣстности линіи  $DE$  замѣчаютъ разстояніе точки  $F$ , лежащей на створѣ предметовъ  $M$  и  $N$ , отъ  $D$  и сравниваютъ эту длину съ соотвѣтственною по планшету, что и послужитъ повѣркою.

При измѣреніи линій на покатой мѣстности слѣдуетъ, какъ и всегда, наносить ихъ горизонтальное положеніе.

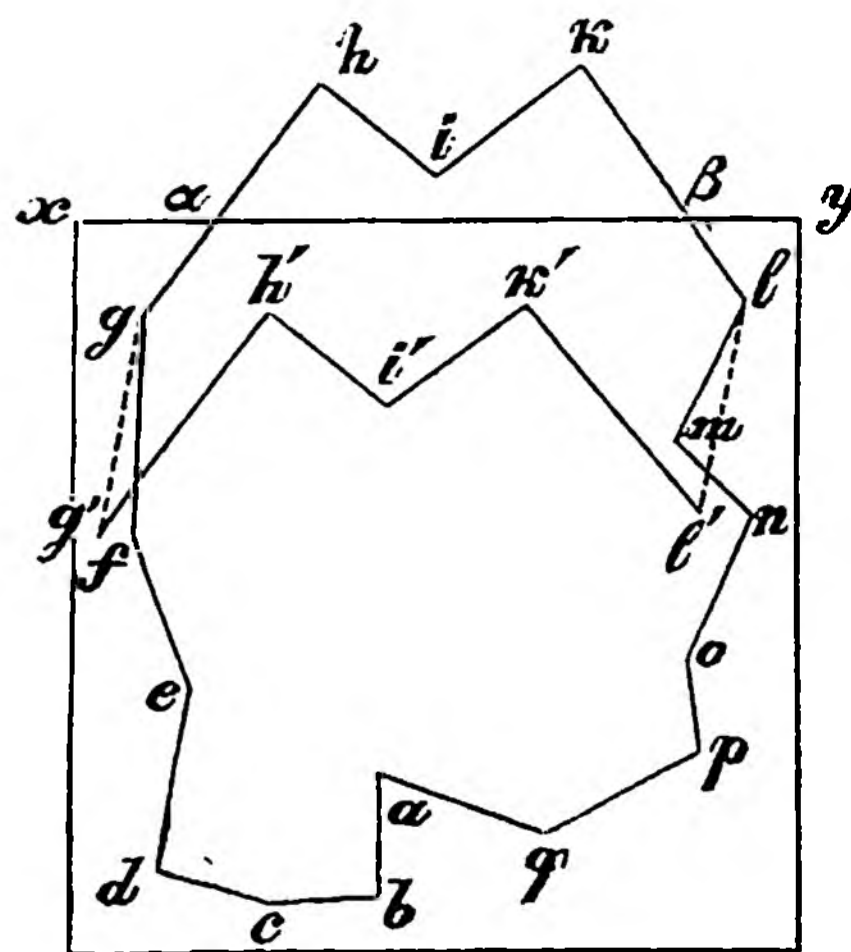
Когда отъ способа обхода не требуется высшая возможная точность, какъ напр. въ лѣсныхъ съемкахъ при отдѣленіи участковъ одинаковой породы, одинаковой густоты насажденія, одинаковаго возраста деревьевъ, тогда при съемкѣ границы становятся съ мензулою *чрезъ* вершину многоугольника, ориентируя при этомъ планшетъ по буссоли. Пусть требуется снять при такихъ условіяхъ полигонъ  $ABCDEF$  (черт. 397);

вставъ съ мензулою точкою  $a$  надъ  $A$  мѣстности, ориентируютъ планшетъ по магнитному или истинному меридіану, визируютъ на  $F$  и  $B$ , прочерчиваютъ соотвѣтственные линіи, измѣряютъ  $AF$  и  $AB$ , откладываютъ ихъ по масштабу на этихъ направленіяхъ и получаютъ точки  $f$  и  $b$ , соотвѣтствующія  $F$  и  $B$  на мѣстности; затѣмъ минуя точку  $B$  и перенося мензулу въ  $C$ , измѣряютъ  $BC$ . Установивъ мензулу въ  $C$  и ориентировавъ ее по буссоли, визируютъ чрезъ  $b$  на  $B$ , прочерчиваютъ линію, откладываютъ на ней  $bc$  по масштабу, визируютъ чрезъ  $c$  на  $D$  и, перенеся мензулу въ  $E$ , измѣряютъ линіи  $CD$  и  $DE$ . Придя въ  $E$ , откладываютъ прежде всего по масштабу длину  $CD$  и получаютъ на планшетѣ точку  $d$ ; затѣмъ ориентировавъ планшетъ по буссоли, визируютъ чрезъ  $d$  на  $D$ , прочерчиваютъ и откладываютъ  $de$ . Наконецъ визируютъ чрезъ  $e$  на  $F$  и на прочерченномъ направленіи откладываютъ  $ef$ , измѣривъ предварительно на мѣстности  $EF$ . Разумѣется конечная точка  $f$  должна совпадать съ одноименною точкою, полученною въ началѣ. Оказавшаяся невязка, предѣлъ которой можетъ быть и вдвое болѣе, т. е.  $\frac{1}{50}$ , уничтожается параллельными линіями. Эта съемка обходомъ съ буссолью употребляется не только для полигоновъ сомкнутыхъ,

Черт. 397.



Черт. 398.



но она примѣнима и для полигоновъ разомкнутыхъ; необходимо только при этомъ, чтобы начальная и конечная точки обхода были опредѣлены надежнѣе, чѣмъ остальные его точки.

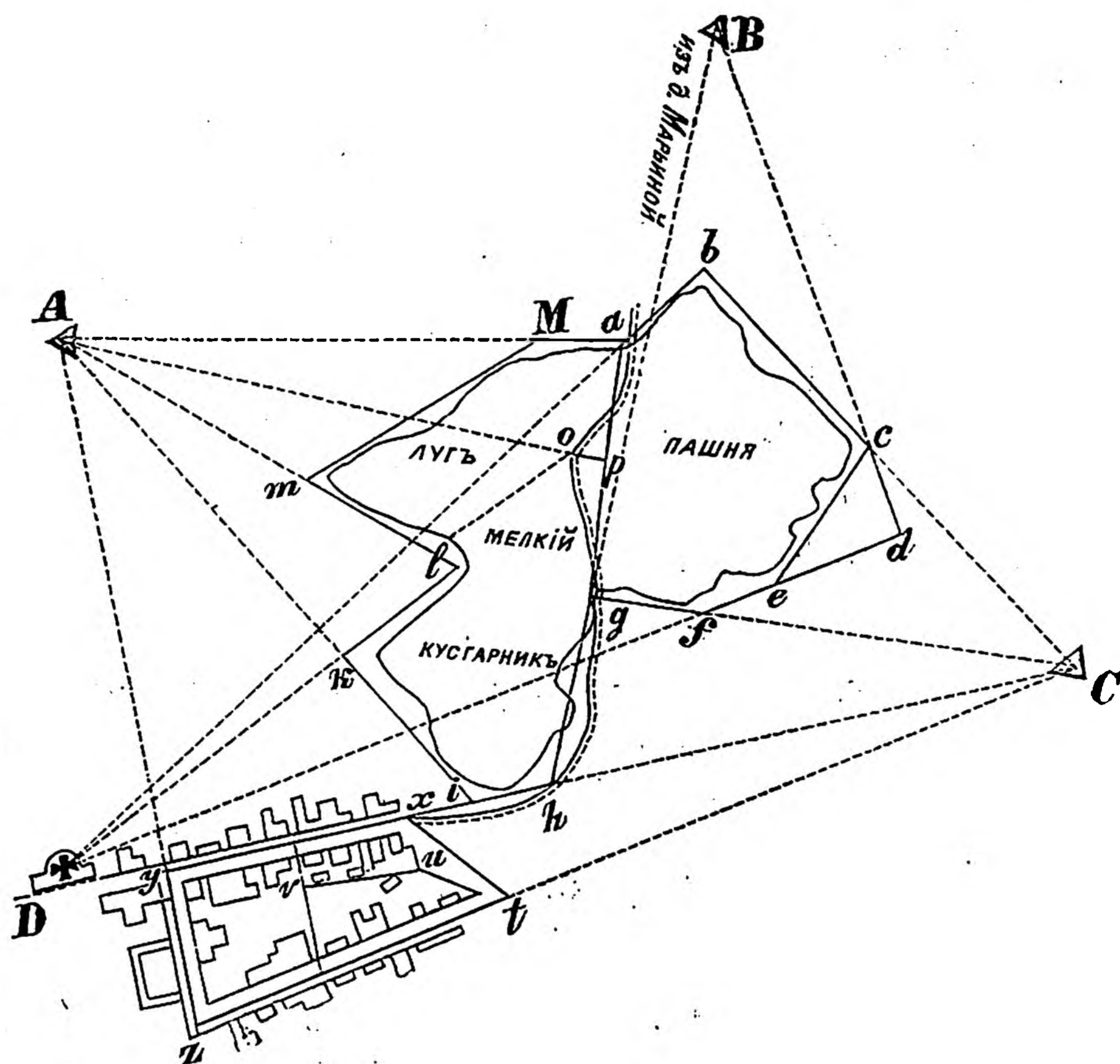
Иногда часть полигона, подлежащаго съемкѣ обходомъ, не можетъ быть помѣщена на планшетѣ въ надлежащемъ мѣстѣ; тогда эта часть снимается на тотъ же планшетъ въ свободномъ его мѣстѣ. Такой случай встрѣчается тогда, когда снимается отдѣльный контуръ и мѣсто на планшетѣ для начальной точки обхода выбрано неудачно или когда масштабъ съемки настолько крупень, что контуръ не соотвѣтствуетъ размѣрамъ мензульной доски, между тѣмъ весь контуръ долженъ быть изображенъ на *одномъ* планшетѣ. Пусть, напр., часть  $\alpha h i k \beta$  (черт. 398) полигона  $abcd \dots q'a$  упадетъ за рамку планшета; тогда стоя съ мензулою въ  $G$  и ориентировавшись по  $gf$ , назначаютъ на свободномъ мѣстѣ такую точку  $g'$ , чтобы часть полигона, упдающая за рамку,

помѣстилась внутри ея. Послѣ этого отъ точки  $g'$  наносятъ обыкновеннымъ путемъ полигонъ  $g'h'i'k'l'$ , стороны котораго равны и параллельны соотвѣтственнымъ сторонамъ полигона  $ghikl$ . Если съемщикъ дойдя до точки  $L$ , соотвѣтствующей на планшетѣ точкѣ  $l'$ , увидитъ, что послѣдующая часть обхода помѣстится на планшетѣ на надлежащемъ мѣстѣ, то для перенесенія точки  $l'$  въ  $l$ , т. е. для нахождения на планшетѣ точки  $l$ , стоитъ только провести чрезъ  $l'$  линію  $l'l$ , параллельную  $gg'$ , и отложить на ней длину, равную этой послѣдней; послѣ чего ориентировавшись по линіи  $l'k'$ , продолжаютъ нанесеніе послѣдующей части  $lmn\dots$  полигона, начавъ отъ точки  $l$ . По окончаніи съемки всего полигона подклеиваютъ къ боку  $xy$  листъ бумаги и, проведя чрезъ вершины  $h'$ ,  $i'$  и  $k'$  линіи, параллельныя и равныя  $gg'$ , получаютъ точки  $h$ ,  $i$  и  $k$  на надлежащихъ мѣстахъ.

**§ 165.** Самый простой и въ то же время точный способъ съемки контуровъ есть *способъ промѣровъ съ вѣхи на вѣху*. Онъ простъ, ибо при своемъ примѣненіи требуетъ только измѣренія линій цѣпью и веденія абриса. Этотъ способъ состоитъ въ томъ, что съемщикъ, осмотрѣвъ предварительно мѣстность, начинаетъ отъ какой нибудь точки, данной на планшетѣ, измѣряетъ на мѣстности линію по направленію на другую также имѣющуюся на планшетѣ точку и относительно ея опредѣляетъ всѣ контуры, пересѣкающіе эту линію и вблизи лежащіе. Если идя по этой линіи болѣе не встрѣчаются контуры, то съемщикъ беретъ новое направленіе на третью данную точку, измѣряетъ до новаго поворота и, продолжая такимъ же образомъ далѣе, оканчиваетъ свой ходъ непремѣнно точкою на планшетѣ также опредѣленною. Это необходимо для того, чтобы по нанесеніи пройденныхъ линій на планшетъ судить о томъ, что не сдѣлано ли при съемкѣ какой нибудь грубой ошибки. При этой съемкѣ необходимо вести абрисъ, на которомъ особенно отчетливо нужно обозначать тѣ данные на планшетѣ пункты, по направленію на которые производилось измѣреніе, — всякая ошибка или неаккуратность въ этомъ отношеніи можетъ приостановить нанесеніе и заставить вновь повторить съемку. Для разъясненія этого способа рассмотримъ его на примѣрѣ. Положимъ, что  $A, B, C, D$  (черт. 399) суть точки триангуляціи, имѣющіяся на планшетѣ, и что на основаніи ихъ нужно снять контуры: луга, пашни, мелкаго кустарника и селенія. Такъ какъ около контура луга, со съемки котораго предполагается начать, не имѣется на мѣстности ни точки триангуляціи, ни какой другой опредѣленной на планшетѣ точки, то, вставъ съ мензулою въ  $M$ , какъ начальную для съемки, опредѣляютъ ее на планшетѣ по тремъ даннымъ ( $A, B, C$ ). Затѣмъ снявъ мензулу, оставляютъ ее около этой точки, ставятъ въ  $M$  вѣху и протягиваютъ цѣпь по створу вѣхъ  $M$  и  $A$ ; дойдя до  $a$ , забивается колышекъ, ибо имѣется въ виду взять отъ этой точки линію  $ag$ , опредѣляющую положеніе дороги, идущей изъ дер. Марьиной и отдѣляющей пашню отъ луга и кустарника. Далѣе цѣпь поворачивается по створу вѣхи  $a$  и церкви  $D$  и измѣреніе продолжается

до  $b$ , а самый контуръ опредѣляется перпендикулярами. Затѣмъ цѣпь поворачивается на  $C$  и линія измѣряется до  $c$ ; послѣ чего не видя необходимости для съемки контуровъ продолжать измѣреніе по этой линіи далѣе и не имѣя точки сѣти, на которую можно было бы измѣрять, слѣдуя за крутымъ поворотомъ контура пашни, измѣряютъ линію  $cd$  по створу точекъ  $c$  и  $B$ , а затѣмъ поворачиваютъ на  $D$  и, дойдя до  $e$ , возвращаются къ  $c$ , измѣряя линію  $ec$  и опредѣляя относительно ея пропущенную часть контура пашни. Отъ  $c$  идутъ опять въ  $e$  и продолжаютъ измѣреніе линіи  $de$  до  $f$ . Послѣ этого измѣряютъ линію  $fg$  по створу точекъ  $f$  и  $C$ ; въ  $g$  оставляютъ колышекъ, намѣреваясь какъ

Черт. 399.



сказано опредѣлить дорогу относительно линіи  $ga$ ; затѣмъ по створу точекъ  $g$  и  $B$  измѣряютъ  $gh$ , относительно которой опредѣляютъ съ одной стороны часть контура кустарника, а съ другой — дорогу; по створу  $h$  и  $C$  измѣряютъ  $hi$ ; въ  $i$  забиваютъ колышекъ, чтобы впослѣдствіи продолжить линію  $hi$  до  $y$  для съемки селенія; отъ  $i$  поворачиваютъ на  $A$  и измѣряютъ до  $k$ , откуда по створу точекъ  $k$  и  $D$  измѣряютъ  $kl$ ; отсюда поворачиваютъ на  $A$  до  $m$  и наконецъ измѣряютъ отъ  $m$  до замѣченной и опредѣленной въ началѣ точки  $M$ , гдѣ оставлена была мензула. Окончивъ этотъ обходъ можно было бы приступить къ его нанесенію на планшетъ, но чтобы отдѣлить пашню отъ луга и кустарника проходятъ съ цѣпью линію  $ag$ , относительно которой опредѣляютъ дорогу перпендикулярами, а точку  $o$  — соединеніе трехъ контуровъ — разстояніемъ  $ar$  и промѣромъ отъ  $r$  на  $A$  до  $o$ . Для съемки селенія промѣряютъ линію  $iy$  вдоль улицы и, забивъ колышекъ  $x$ , гдѣ дорога изъ дер. Марьиной пересѣкается съ улицей опредѣляютъ дома селенія перпендикулярами относительно линіи  $iy$ . Дойдя до  $y$  поворачиваютъ цѣпь



по створу вѣхъ  $y$  и  $A$  до  $z$ ; откуда берутъ линію на  $C$ , измѣряютъ ее до  $t$  и примыкаются къ колышку  $x$ , измѣривъ  $tx$ . Чтобы снять постройки, помѣщающіяся сзади домовъ, измѣряютъ линію  $vi$ , положеніе которой опредѣляется ея конечными точками.

При этомъ способѣ съемки необходимо осматривать мѣстность тщательно, забивать въ необходимыхъ мѣстахъ номерные колышки и, чтобы запомнить намѣченный ходъ работы, вести приблизительный чертежъ, на которомъ предварительно должны быть помѣчены и точки сѣти.

Нанесеніе всѣхъ снятыхъ контуровъ на планшетъ производится въ такомъ порядкѣ: приложивъ линейку къ изображеніямъ точекъ  $A$  и  $M$  на планшетѣ прочерчиваютъ линію, на которой откладываютъ по масштабу отъ  $M$  длину  $Ma$ , взятую съ абриса; прикладываютъ линейку къ  $a$  и  $D$  и строятъ линію  $ab$ , затѣмъ приложивъ линейку къ  $b$  и  $C$  получаютъ линію  $bc$ , по точкамъ  $B$  и  $c$  получаютъ линію  $cd$  и такъ далѣе, прикладывая послѣдовательно линейку къ имѣющимся на планшетѣ точкамъ, получаютъ линіи  $df$ ,  $fg$ ,  $gh$ ,  $hi$ ,  $ik$ ,  $kl$ ,  $lm$  и  $mM$ ; причѣмъ точка  $M$ , полученная по отложеніи длины  $mM$ , можетъ не совпасть съ точкою  $M$ , опредѣленною на планшетѣ по тремъ даннымъ. Если эта невязка допускаема, то ее уничтожаютъ передвиженіемъ всѣхъ только что полученныхъ вершинъ полигона, кромѣ начальной, по способу параллельныхъ линій, а недопускаемость невязки укажетъ на существованіе въ съемкѣ грубой ошибки. Только по уничтоженіи невязки, а отнюдь не ранѣе этого, можно будетъ провести на планшетѣ линіи  $ag$  и  $se$  и, измѣривъ ихъ длины на планшетѣ, редуцируютъ къ нимъ всѣ сдѣланныя по этимъ линіямъ измѣренія на мѣстности; затѣмъ уже приступаютъ къ нанесенію контуровъ луга, пашни, кустарника и части дороги. Послѣ того на продолженіи линіи  $Ci$  откладываютъ  $ix$  и  $iy$ , на продолженіи  $Ay$  откладываютъ  $yz$ , на линіи  $zC$  откладываютъ  $zt$  и, соединивъ точки  $t$  и  $x$ , смотрятъ — имѣетъ ли линія  $tx$  длину, полученную при измѣреніи той же линіи на мѣстности. По уничтоженіи въ случаѣ надобности невязки наносится по абрису селеніе.

Изъ разсмотрѣнія предыдущаго весьма точнаго способа видно, что онъ примѣнимъ при достаточномъ числѣ пунктовъ триангуляціи почти всегда на мѣстности негористой.

**§ 166.** Относительно примѣнимости отдѣльныхъ изложенныхъ въ предыдущемъ способовъ съемки контуровъ надо сказать, что способы засѣчекъ и полярный должны по возможности предпочитаться способу обходомъ, потому что при двухъ первыхъ положеніе каждой точки опредѣляется совершенно независимо отъ предыдущихъ, тогда какъ при способѣ обходомъ на положеніе послѣдующей точки вліяетъ сумма неизбѣжныхъ погрѣшностей, вкравшихся въ опредѣленіе точекъ предыдущихъ. Кромѣ того при способѣ засѣчекъ получается горизонтальное проложеніе контура непосредственно, между тѣмъ способъ обходомъ требуетъ для этого введеніе поправокъ во всѣ измѣренныя наклонныя линіи. Наконецъ способъ промѣровъ съ вѣхи на вѣху, какъ наиболѣе

точный, простой, удобный и позволяющий работать даже и въ менѣе благоприятную погоду слѣдуетъ предпочитать всѣмъ остальнымъ.

Съемка контуровъ въ общей связи на данномъ участкѣ, на которомъ имѣется триангуляція, производится всѣми предыдущими способами, хотя и постепеннымъ переходомъ отъ одного контура къ другому, но по возможности другъ отъ друга независимо; при чемъ, въ большинствѣ случаевъ, часть контура снимаютъ однимъ способомъ, а остальную часть его — другими способами, смотря по удобству и условіямъ, представляемымъ мѣстностью. На каждой точкѣ стоянія съемщикъ обязательно повѣряется на видимыя точки и вмѣстѣ съ тѣмъ располагаетъ свой ходъ съ инструментомъ такъ, чтобы можно было производить съемку вправо и влево и чтобы при меньшемъ числѣ переходовъ съ инструментомъ, т.-е. въ наименьшее время, снять болѣе широкую полосу.

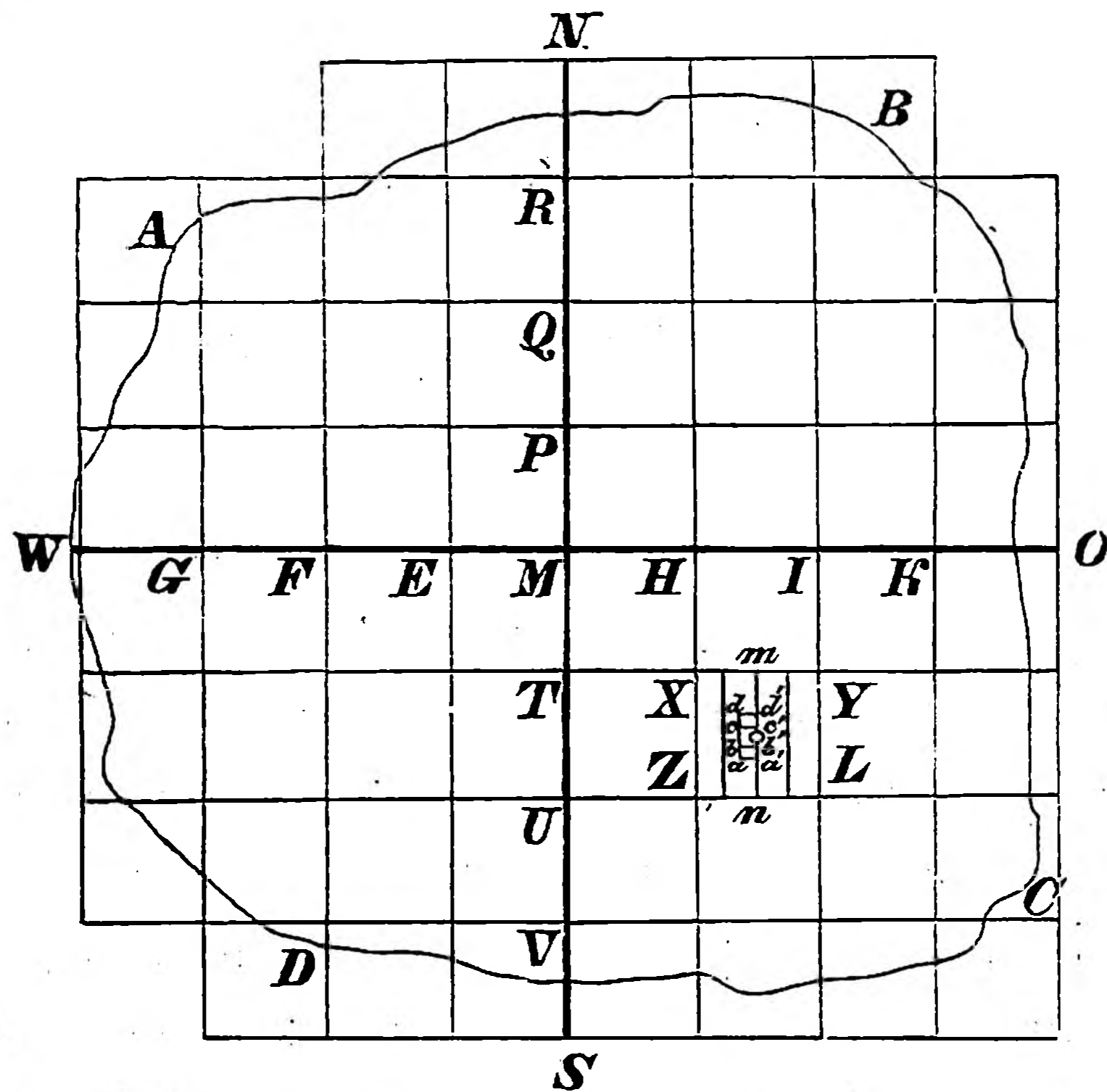
**§ 167.** Иногда на мѣстности, на которой составляется геометрическая сѣть, имѣется сѣть тригонометрическая; тогда базисъ геометрической сѣти не измѣряется и нанесеніе ея на планшетъ производится на основаніи наложенныхъ предварительно на него пунктовъ тригонометрической сѣти. Имѣя эти пункты, разстояніе между двумя изъ нихъ принимается за базисъ сѣти геометрической; самое же нанесеніе этой послѣдней ничѣмъ не отличается отъ изложеннаго въ предыдущемъ. Въ случаѣ когда на планшетъ нанесено менѣе двухъ тригонометрическихъ пунктовъ или два не доступные для инструмента, полученіе на планшетѣ базиса геометрической сѣти сопровождается тѣми же приемами, которые описаны въ предыдущемъ при изложеніи *дополнительной* сѣти.

**§ 168.** *Мензульная съемка разбивкою мѣстности рядами параллельныхъ и перпендикулярныхъ линій.* Этотъ способъ съемки состоитъ въ томъ, что вмѣсто составленія триангуляціи весь участокъ разбивается на мѣстности рядами равноотстоящихъ взаимно перпендикулярныхъ линій. Образующіеся при этомъ квадраты должны быть такой величины, чтобы каждый изъ нихъ могъ помѣститься въ данномъ масштабѣ на одномъ планшетѣ. Для съемки контуровъ внутри cadaго изъ этихъ квадратовъ проводятся параллельныя линіи во взаимномъ разстояніи отъ 100 до 250 саж., смотря по мелкости контуровъ.

Подробности этого способа слѣдующія: если съемкѣ подлежитъ участокъ  $ABCD$  (400), то примѣрно чрезъ средину его провѣшиваютъ линію  $NS$ , совпадающую съ магнитнымъ или географическимъ меридіаномъ, а чрезъ среднюю точку ея  $M$  проводятъ посредствомъ экера перпендикуляръ  $WO$ . Затѣмъ начиная отъ  $M$  отмѣриваютъ части  $MP, PQ, \dots MT, TU, \dots ME, EF, \dots MH, HI, \dots$ , равныя между собою и соотвѣтствующія сторонамъ квадрата, который предполагается строить на планшетахъ; такъ, если сторона квадрата планшета будетъ 20 дюймовъ, а масштабъ, въ которомъ будетъ производиться съемка, есть  $\frac{1}{8400}$ , то части, отмѣриваемыя на  $NS$  и  $WO$ , должны быть равны

$20 \times 100 = 2000$  саж. = 4 верстамъ. Послѣ этого чрезъ точки  $P, Q, \dots T, U, \dots E, F, \dots H, I, \dots$  проводятъ экеромъ перпендикуляры къ соответственнымъ линіямъ и въ точкахъ ихъ пересѣченія забиваются колышки. Вслѣдствіе этого весь участокъ будетъ разбитъ на квадраты, могущіе помѣститься на планшетахъ.

Черт. 400.



Приступая къ съемкѣ подробностей внутри каждаго изъ этихъ квадратовъ, наносятъ его прежде всего на планшетъ, что производится по способу обхода. Напр., если съемку предполагается произвести внутри квадрата  $XULZ$ , то становятся съ мензулой въ точку  $X$ , выбираютъ на планшетѣ соответственную точку  $x$ , центрируютъ планшетъ, приводятъ его въ горизонтальное положеніе, ориентируютъ край доски по меридіану и визируютъ чрезъ  $x$  на  $U$ . Промѣряютъ цѣпью возможно тщательнѣе раза два линію  $XU$ , забиваютъ на ней колышки во взаимномъ разстояніи отъ 100 до 250 сажень и ведутъ при измѣреніи абрисъ, на которомъ изображаютъ всѣ контуры, лежащія около  $XU$ . Длину всей промѣренной линіи  $XU$  откладываютъ въ данномъ масштабѣ на прочерченномъ направленіи и получаютъ на планшетѣ точку  $u$ , соответствующую  $U$ . Становятся съ мензулою надлежащимъ образомъ въ  $U$ , ориентируютъ планшетъ на  $X$ , гдѣ оставлена была вѣха, и визируютъ чрезъ  $u$  на  $L$ . Продолжая подобнымъ образомъ далѣе, доходятъ до начальной точки  $X$ . Полученная въ концѣ обхода точка  $x$  должна совпасть съ одноименною точкою, назначенною вначалѣ; въ противномъ случаѣ, производится увязка фигуры. Фигура  $xulz$ , полученная на планшетѣ, не будетъ представлять математически-точного квадрата, какъ вслѣдствіе неточныхъ дѣйствій на мѣстности, такъ и вслѣдствіе неточнаго нанесенія на бумагу; тѣмъ не менѣе это обстоятельство не окажетъ вліянія на послѣдующую работу. Послѣ увязки на планшетѣ четырехугольника  $xulz$ , наносятъ съ абриса всѣ контуры, снятые относительно его сторонъ, а на  $xu$  и  $lz$  помѣчаютъ кромѣ того и точки въ которыхъ

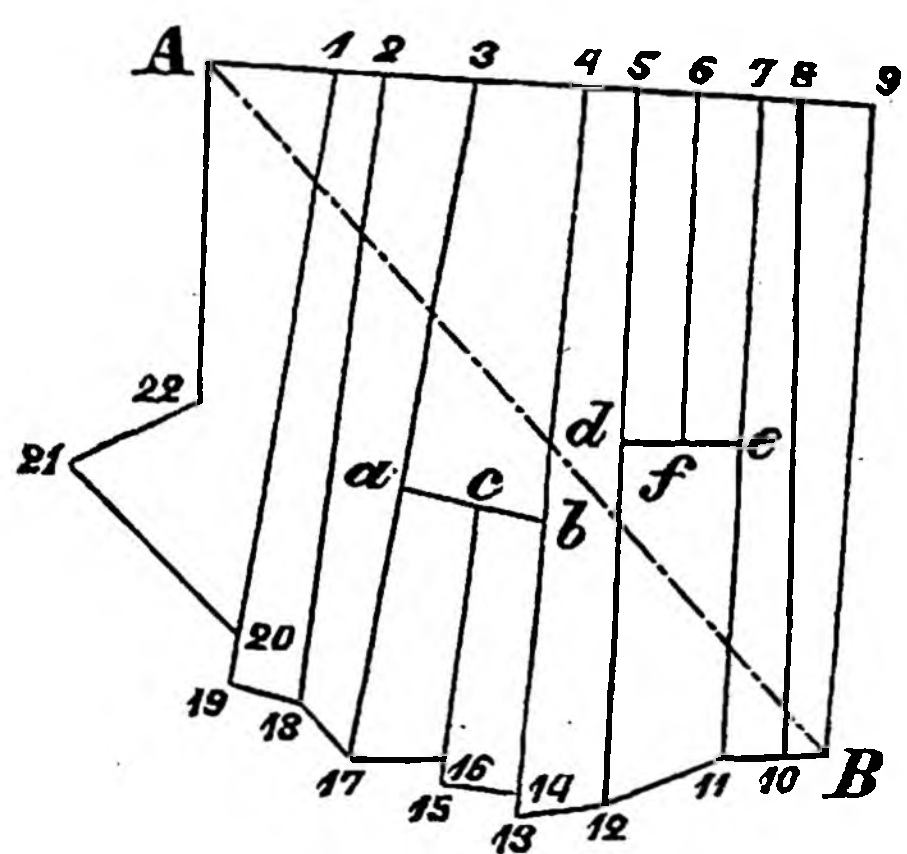
въ натурѣ забиты колышки. Послѣ этого, проходя на мѣстности каждую изъ параллелей къ сторонамъ  $XZ$  и  $UL$  снимаютъ способами засѣчекъ, полярнымъ и простыми промѣрами всѣ контуры, лежащія по обѣимъ ихъ сторонамъ и находящіяся отъ нихъ не далѣе середины разстоянія между сосѣдними параллелями.

Способъ этотъ можетъ быть рекомендуемъ преимущественно въ мѣстахъ лѣсныхъ, потому что при его употребленіи невозможно сдѣлать пропусковъ полянъ, рѣчекъ, дорогъ и т. п.; при этомъ квадраты должно отдѣлять другъ отъ друга просѣками, а при проведеніи внутреннихъ параллелей ограничиваться устраненіемъ древесныхъ вѣтвей и избѣгать порубки большихъ деревьевъ, обходя ихъ такъ, какъ указано на чертежѣ, гдѣ дерево, обозначенное кружкомъ, обойдено перпендикулярами:  $aa'$ ,  $bb'$ ,  $cc'$  и  $dd'$ . Въ мѣстахъ же степныхъ и вообще открытыхъ способъ этотъ не употребляется, потому что онъ требуетъ гораздо болѣе времени для разбивки мѣстности на квадраты, чѣмъ для составленія на ней триангуляціи.

**§ 169. Съемка полосъ.** Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ снимаемаго участка встрѣчаются иногда полосы, засѣяныя различными хлѣбными и другими травами, или принадлежащія различнымъ владѣльцамъ; при чемъ, если одно и то же лицо владѣетъ нѣсколькими полосами, не рядомъ лежащими, то такое владѣніе называется *чрезполоснымъ*. Для съемки полосъ могутъ служить всѣ четыре способа: засѣчекъ, полярный, обходомъ и промѣрами съ вѣхи на вѣху, которые были разъяснены при изложеніи съемки контуровъ.

На черт. 401 изображена совокупность полосъ, которая снята способомъ засѣчекъ. Для этого выбраны были двѣ точки  $A$  и  $B$ , которыя опредѣлены по тремъ даннымъ или какъ нибудь иначе и разстояніе между которыми принято за базисъ. Прежде всего съемщикъ обходитъ вмѣстѣ съ однимъ изъ рабочихъ всѣ полосы и во всѣхъ вершинахъ ихъ вбиваетъ нумерованные колышки; а для того чтобы послѣ опредѣленія ихъ на планшетѣ соединить точки въ той же послѣдовательности, какъ и на мѣстности, съемщикъ ведетъ при этомъ обходѣ абрисъ. Далѣе, такъ какъ вершины отъ 1 до 9 лежатъ на одной прямой, проходящей чрезъ  $A$ , то, вставъ съ мензулою въ  $A$ , сдѣланы визированія отъ 9 до 22. (Чтобы не затемнять чертежъ линіи визированія не прочерчены). Затѣмъ, перейдя съ мензулою въ  $B$  и заставивъ рабочаго становиться послѣдовательно на всѣ вершины отъ 1 до 22, были засѣчены всѣ линіи визированія, прочерченныя въ  $A$ ; соединивъ же полученные точки въ той послѣдовательности, въ какой онѣ соединены на абрисѣ, были получены на планшетѣ требуемыя полосы. Для опредѣленія на планшетѣ положенія межниковъ  $ab$ ,  $16c$ ,  $de$ ,  $6f$  были опре-

Черт. 401.

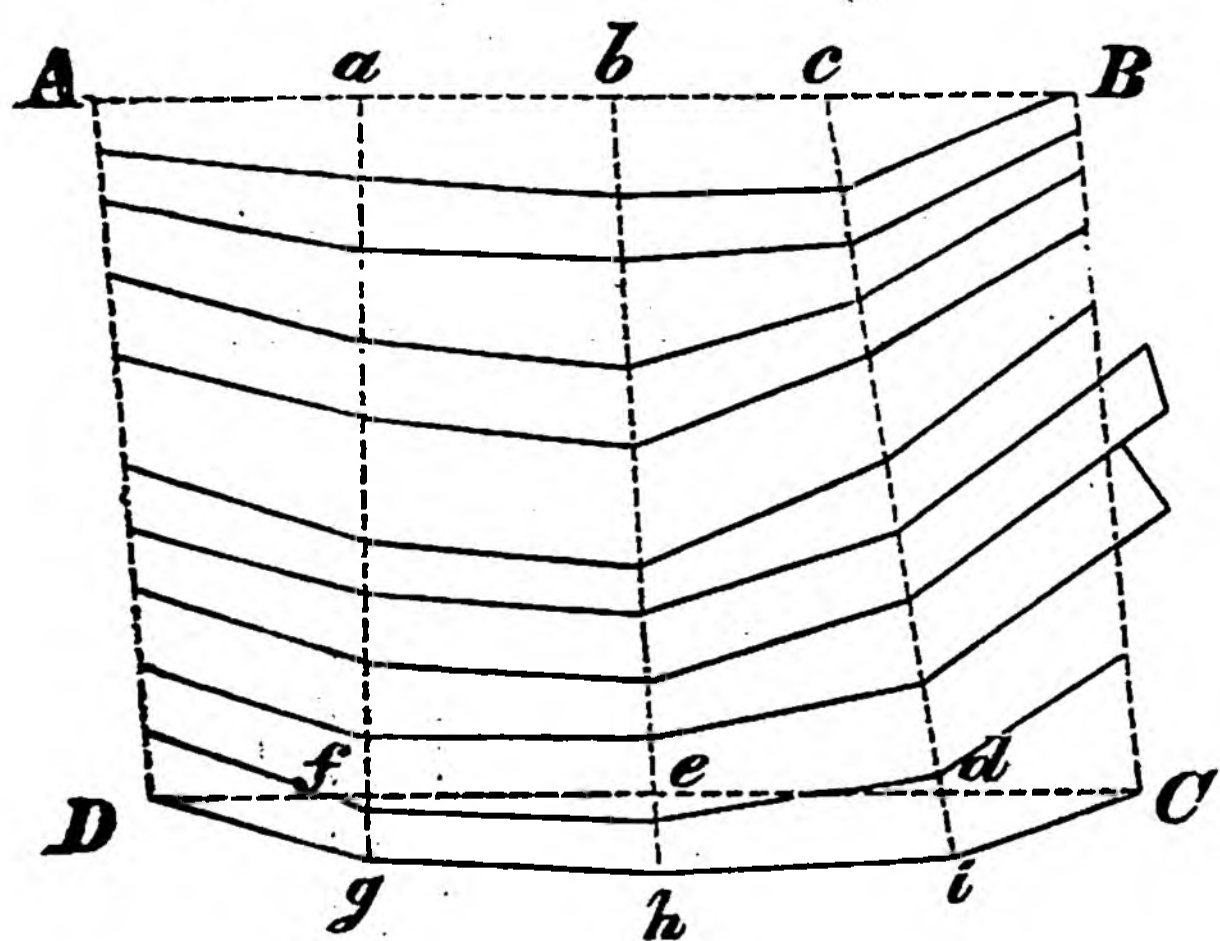


дѣлены непосредственнымъ промѣромъ разстоянія пунктовъ  $a$ ,  $b$ ,  $d$  и  $e$  соотвѣтственно отъ ближайшихъ вершинъ 17, 14, 5 и 7, а промѣрами по самымъ межникамъ  $ab$  и  $de$  опредѣлилось положеніе точекъ  $c$  и  $f$ .

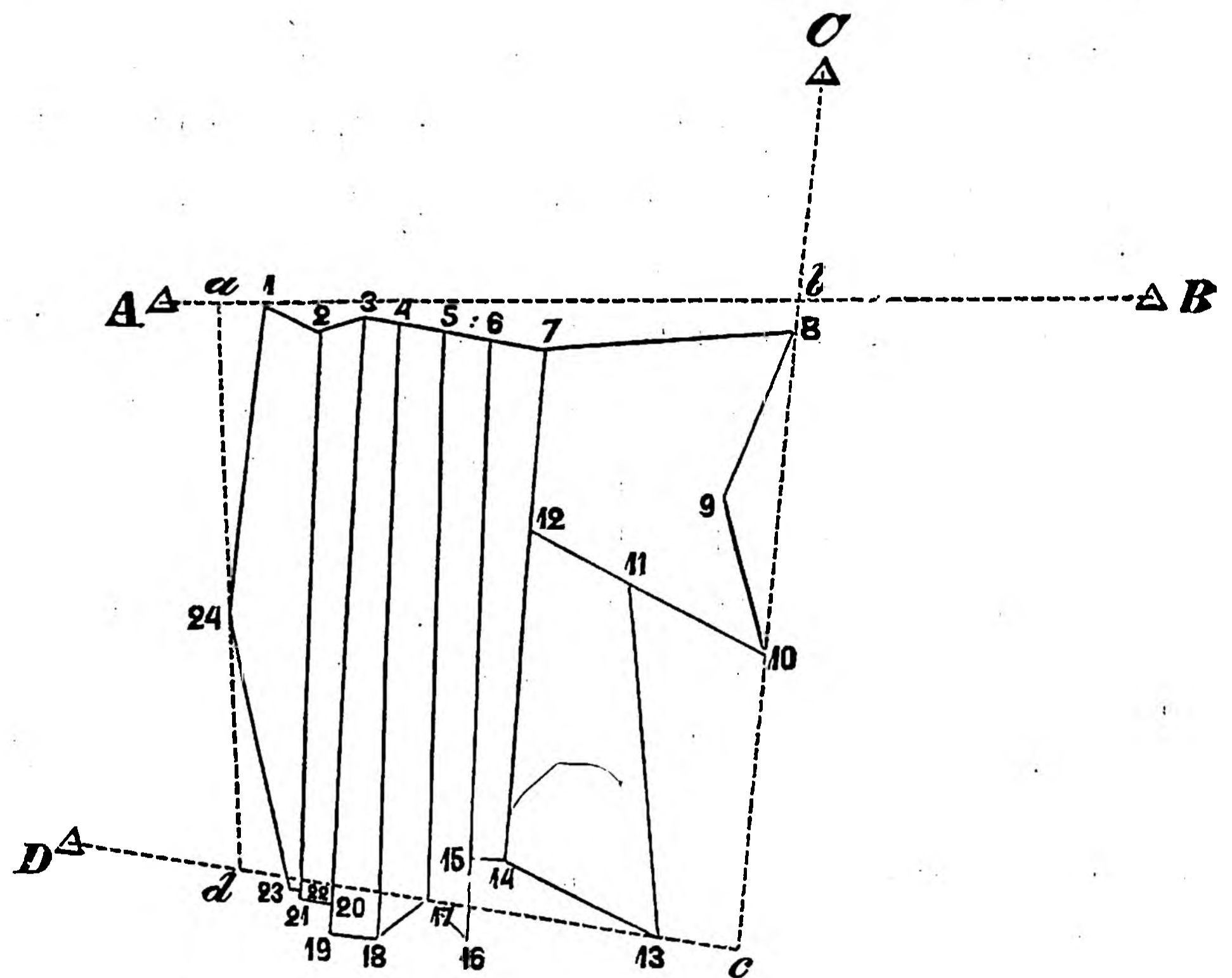
Если съемщикъ располагаетъ кипрегелемъ - дальномѣромъ и отъ съемки не требуется особой точности, то ту же совокупность полосъ удобно снять полярнымъ способомъ. Для чего, вставъ съ мензулою въ  $d$  и опредѣливъ положеніе ея на планшетѣ, ставятъ рабочаго съ рейкою послѣдовательно во всѣ вершины полосъ и опредѣляютъ ихъ положеніе на планшетѣ прочерчиваніемъ направленій и отложеніемъ на нихъ разстояній, отсчитанныхъ на рейкѣ.

На черт. 402 изображена съемка по способу обхода такихъ полосъ, длинныя межники которыхъ суть кривыя линіи. При съемкѣ этимъ способомъ многоугольника  $ABCD$  опредѣляютъ на линіяхъ  $AB$  и  $CD$  точки  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ ,  $e$  и  $f$ , соединяя которыя прямыми  $af$ ,  $be$  и  $cd$ , криволинейныя межники разобьются на части, принимаемыя за прямыя линіи; а при измѣреніи линій  $BC$  и  $DA$  замѣчаются разстоянія до пересѣченія ихъ длинными межниками. Въ случаѣ, если какая либо изъ линій обхода, напр.  $BC$ , пересѣкаетъ полосы, то надо измѣрить всѣ четыре линіи выступа; этихъ измѣреній достаточно не только для нанесенія

Черт. 402.



Черт. 403.



выступовъ на планшетъ, но и для вычисленія ихъ площадей. Для опредѣленія искривленій длинныхъ межниковъ мѣряютъ линіи  $af$ ,  $be$  и  $cd$  и замѣчаютъ разстоянія до точекъ, въ которыхъ онѣ пересѣкаются межниками, а также измѣряютъ и продолженія этихъ послѣднихъ линій до точекъ  $g$ ,  $h$  и  $i$ .

Наконецъ покажемъ производство съемки полосъ, изображенныхъ на черт. 403, по способу промѣровъ съ вѣхи на вѣху. Пусть  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  суть точки триангуляціи; тогда, начавъ отъ  $A$ , мѣряютъ по направленію на  $B$  и опредѣляютъ перпендикулярами вершины отъ 1 до 7. Въ точкѣ  $b$  поворачиваютъ цѣль по створу вѣхъ  $b$  и  $C$ , замѣчаютъ

положеніе точекъ 8, 9 и 10, изъ которыхъ первая и послѣдняя помѣщаются на самой линіи  $bc$  и продолжаютъ измѣреніе до  $c$ , гдѣ поворачиваются на  $D$  и записываютъ длины, опредѣляющія вершины 13, 14 и 15, пересѣченія линіи хода длинными межниками и всѣ четыре стороны каждаго изъ выступовъ полосъ. Дойдя до  $d$  поворачиваются на  $a$ , которая лежитъ на  $AB$  въ извѣстномъ разстояніи отъ  $A$ . Съемка эта, какъ видно, производится такъ же, какъ и въ § 165, безъ участія мензулы, а при помощи одной только цѣпи.

**§ 170. Повѣрка мензульной съемки.** При всѣхъ своихъ работахъ съемщикъ долженъ удостовѣряться въ правильномъ ихъ производствѣ. Это необходимо не только для того, чтобы убѣждаться въ отсутствіи грубыхъ ошибокъ, но и для возможности судить объ искусствѣ производить работу. Хорошій результатъ повѣрки подбодряетъ съемщика къ производству болѣе затруднительной части работы, а неблагоприятный — обращаетъ своевременно вниманіе съемщика на существованіе недопускаемыхъ въ работѣ ошибокъ и заставляетъ его относиться въ будущемъ къ съемкѣ съ большимъ тщаніемъ. Вслѣдствіе этого повѣрка съемки должна производиться не только по окончаніи, но и во время хода ея.

Хорошая повѣрка мензульной съемки *въ мѣстности открытой* состоитъ въ опредѣленіи на планшетѣ двухъ или нѣсколькихъ точекъ посредствомъ засѣчекъ съ данныхъ или, еще лучше, по тремъ даннымъ и въ измѣреніи на мѣстности линій, соединяющихъ эти точки. Промѣривъ каждую изъ этихъ линій и замѣтивъ на абрисѣ всѣ пересѣченія контуровъ, сравниваютъ полученные измѣренія съ соотвѣтственными длинами на планшетѣ. Если полученные при этомъ разницы не превышаютъ  $\frac{1}{200}$  доли соотвѣтственной длины, то съемка считается удовлетворительною. Для болѣе же легкой, но менѣе обстоятельной, повѣрки ставятъ мензулу въ какомъ нибудь хорошо опредѣленномъ на планшетѣ пунктѣ и визируютъ чрезъ него на вѣху, выставляемую въ различные пункты контуровъ. Уклоненіе прочерченной линіи визирования отъ соотвѣтственнаго пункта контура не должно превышать того же предѣла. Обыкновенно при повѣркѣ употребляютъ одновременно тотъ и другой пріемъ.

Повѣрка мензульной съемки *въ мѣстности закрытой*, какъ напр. въ лѣсахъ, садахъ, селеніяхъ и т. п., состоитъ въ постановкѣ мензулы въ данный пунктъ и въ употребленіи способа обхода для опредѣленія имѣющихся на планшетѣ пунктовъ. Допускаемое уклоненіе есть  $\frac{1}{100}$  гройденнаго хода.

**§ 171. Достоинства и недостатки мензульной съемки.** Важное достоинство мензульной съемки состоитъ въ томъ, что планъ снимаемаго участка получается тутъ же, при производствѣ самой работы, не требуя

для своего составленія особаго времени; далѣе достоинствомъ служить также и то, что изъ всѣхъ инструментовъ мензула, и въ особенности въ соединеніи съ дальномѣромъ, наиболѣе удобна для съемки въ томъ отношеніи, что не требуетъ отъ съемщика умѣнья производить вычисленіе, которымъ въ большей или меньшей степени сопровождается работа съ угломѣрнымъ инструментомъ.

Недостаткомъ мензулы нужно прежде всего считать малую точность, что видно изъ того, что предѣльная ошибка графическаго построенія ея угла мѣстности есть, какъ мы видѣли (§ 149) 7 минутъ; въ томъ же случаѣ когда требуется знать градусную величину этого угла, ошибка можетъ достигнуть 8,5 минутъ. Точность изображенія длины линіи на мензулѣ выражается дробью, которая не менѣе  $\frac{1}{200}$ , т. е. каждая 200 сажень на планшетѣ могутъ быть ошибочны на 1 сажень. Эти числовыя точности могутъ, вслѣдствіе накопленія погрѣшностей, еще увеличиться по мѣрѣ удаленія отъ базиса; такъ что на различныхъ мѣстахъ планшета онѣ различны. На точность особенно сильно также вліяетъ измѣняемость гигроскопическаго состоянія бумаги, происходящая отъ большей или меньшей влажности воздуха и посадки ея съ теченіемъ времени. Затѣмъ къ недостаткамъ надо отнести то, что при перерисовываніи мензульнаго плана копіи получаютъ разъ отъ разу менѣе точныя. Это перерисовываніе можетъ быть допущено только при сохраненіи масштаба или при его уменьшеніи, а никакъ не при увеличеніи. Далѣе необходимость употреблять при мензулѣ ея принадлежности, отдѣльныя отъ самаго инструмента, а также большая громоздкость и вѣсъ сравнительно съ угломѣрными инструментами, транспортъ которыхъ гораздо удобнѣе, тоже не говорятъ въ пользу мензулы.



## ГЛАВА VI.

### Выраженіе на планахъ неровностей мѣстности.

§ 172. До сихъ поръ излагалось — какъ получить на бумагѣ изображеніе, подобное горизонтальному проложенію части земной поверхности, и слѣдов. не принимая во вниманіе ея неровностей. Но для полученія *полнаго* понятія объ изображенной поверхности надо также имѣть данныя, по которымъ можно было бы судить объ относительныхъ высотахъ отдѣльныхъ ея точекъ; другими словами, надо умѣть изображать на бумагѣ неровности мѣстности или, какъ говорятъ, орографическое\*) ея состояніе.

Въ прежнее время пробовали этому удовлетворить припискою при точкахъ на выдающихся неровностяхъ чиселъ, которыя выражаютъ ихъ высоты относительно одной принятой для всей мѣстности горизонтальной плоскости; но этотъ способъ не имѣетъ ни малѣйшей наглядности и потому сохранился теперь только на морскихъ картахъ, на которыхъ числа при отдѣльныхъ точкахъ выражаютъ глубину дна моря въ этомъ мѣстѣ.

Для изображенія же неровностей суши введены особые условные знаки: горизонтали, вычерчиваніе штрихами (шраффировка\*\*) и тушевка или отмывка.

§ 173. *Горизонталями*\*\*\*) называются кривыя линіи, происходящія отъ разсѣченія неровности рядомъ горизонтальныхъ плоскостей. Для со-

---

\*) Отъ двухъ греч. словъ: *oros* — гора и *graphein* — описывать.

\*\*) Нѣмецкое слово *schraffiren* означаетъ штриховать.

\*\*\*) Способъ изображенія неровностей горизонталями впервые былъ употребленъ голландскимъ геометромъ *Н. Крукіусъ*, изобразившимъ въ 1729 г. посредствомъ ихъ часть русла р. Маась при впаденіи въ нее Мерведе. Въ 1737 г. французскій географъ *Ф. Бюашъ* представилъ въ парижскую академію наукъ составленную имъ пять лѣтъ назадъ карту канала Ла-Маншь, на которой горизонталями были соединены точки одинаковой глубины дна. Примѣненіе же горизонталей къ изображенію суши сдѣлано француз-

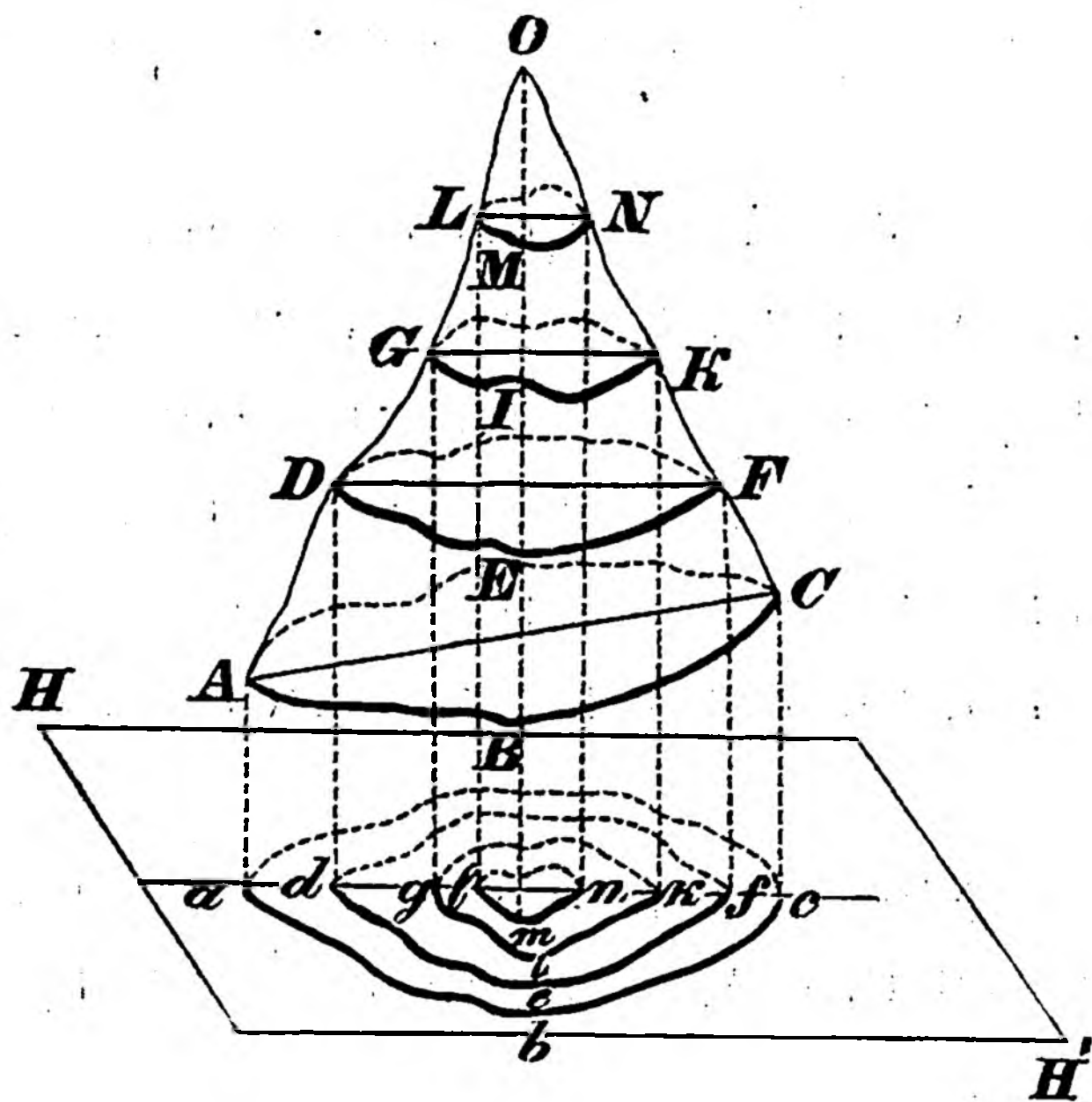


ставленія себѣ понятія объ изображеніи неровностей на бумагѣ горизонталями положимъ, что фигура  $АОС$  (черт. 404) есть отдѣльная на землѣ возвышенность болѣе или менѣе конической формы, называемая *горюю*; точка  $O$  — ея *вершина*, кривая  $ABC$  — пересѣченіе горы съ окружающею ее земною поверхностью — ея *подошва*, а боковая поверхность — *скаты*. Положимъ затѣмъ, что гора  $АОС$  разсѣчена горизонтальными плоскостями, отстоящими другъ отъ друга на одинаковомъ отвѣсномъ разстояніи. При пересѣченіи этихъ плоскостей съ поверхностью горы получатся кривыя  $DEF, GIK, LMN$ , которыя и суть горизонталы. Опустивъ перпендикуляры изъ всѣхъ точекъ подошвы горы, ея горизонталей и вершины на горизонтальную плоскость  $HH'$ , получимъ на ней изображение горы посредствомъ горизонталей.

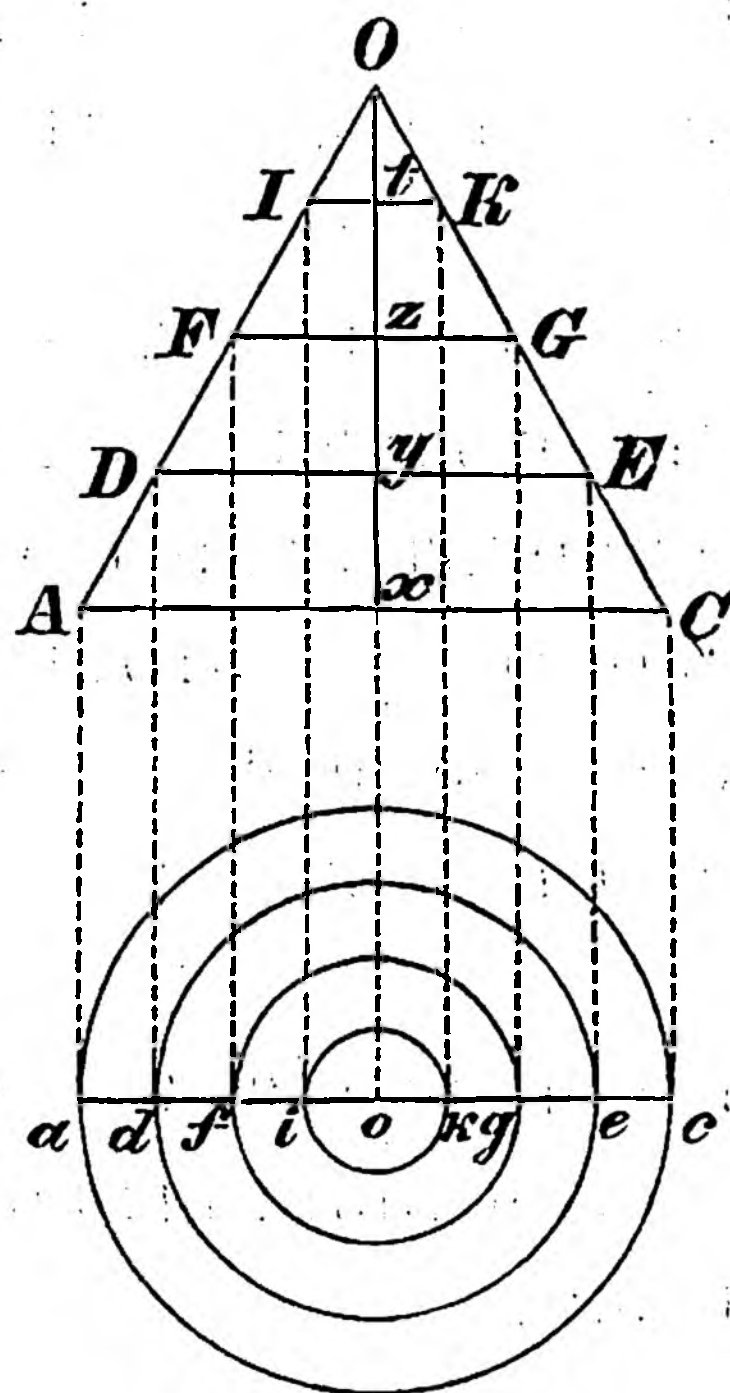
Горизонталы имѣютъ свойства давать возможность судить: 1) о формѣ частей земной поверхности, 2) о крутизнѣ и направленіи ската, 3) объ относительныхъ высотахъ точекъ и 4) объ объемѣ (кубическомъ содержаніи) неровности.

На мѣстности не встрѣчается правильныхъ математическихъ поверхностей, тѣмъ не менѣе отдѣльныя части неровностей ея всегда могутъ быть сравниваемы на небольшомъ протяженіи съ правильными поверхностями. Вслѣдствіе чего, чтобы показать возможность судить по

Черт. 404.



Черт. 405.



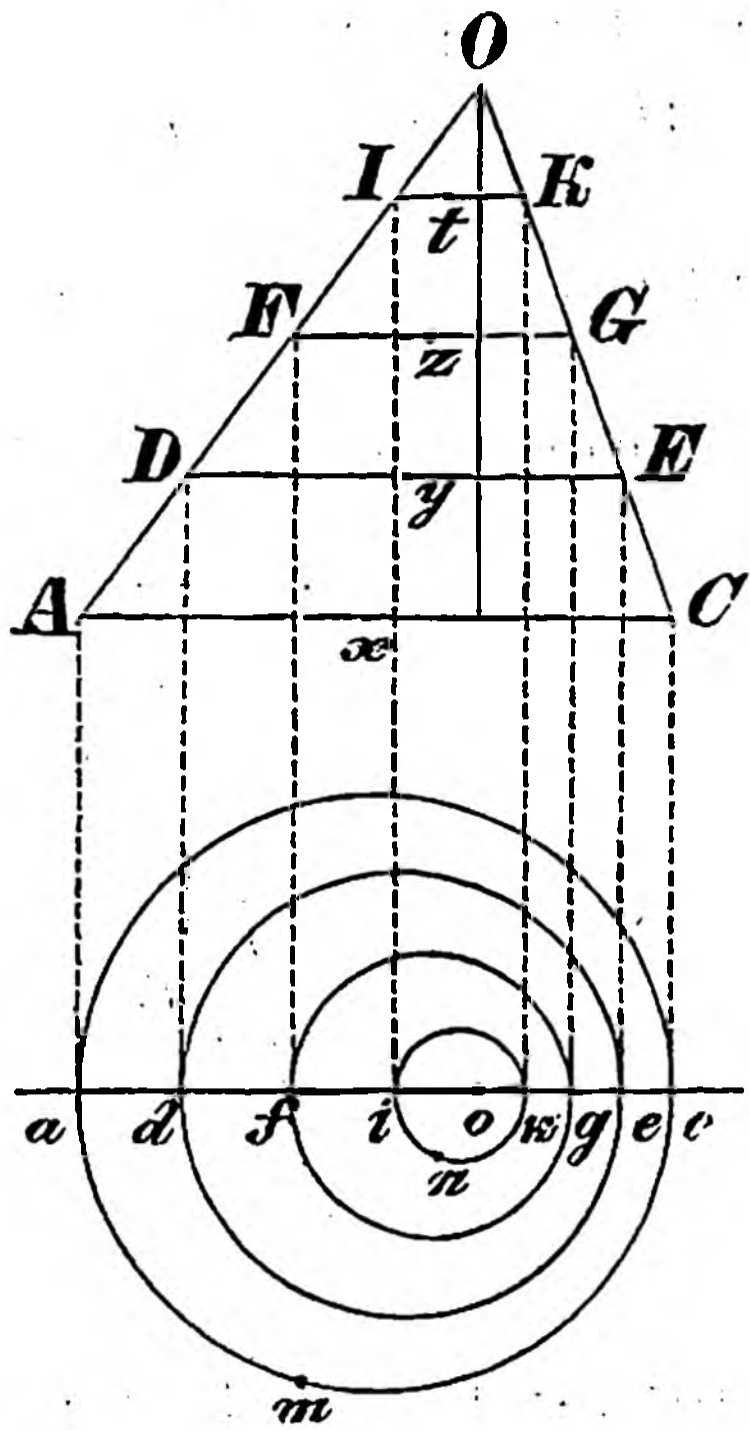
горизонталямъ о формѣ частей земной поверхности, ознакомимся съ изображеніемъ на плоскости посредствомъ горизонталей поверхностей нѣкоторыхъ геометрическихъ тѣлъ. Такъ поверхность прямого конуса  $АОС$  (черт. 405) съ круговымъ основаніемъ изобразится на плоскости

скемъ инженеромъ *Дюкарла*, который въ 1765 г., въ бытность свою въ Женевѣ, придалъ этому дѣлу истинное значеніе и потому считается творцомъ способа.

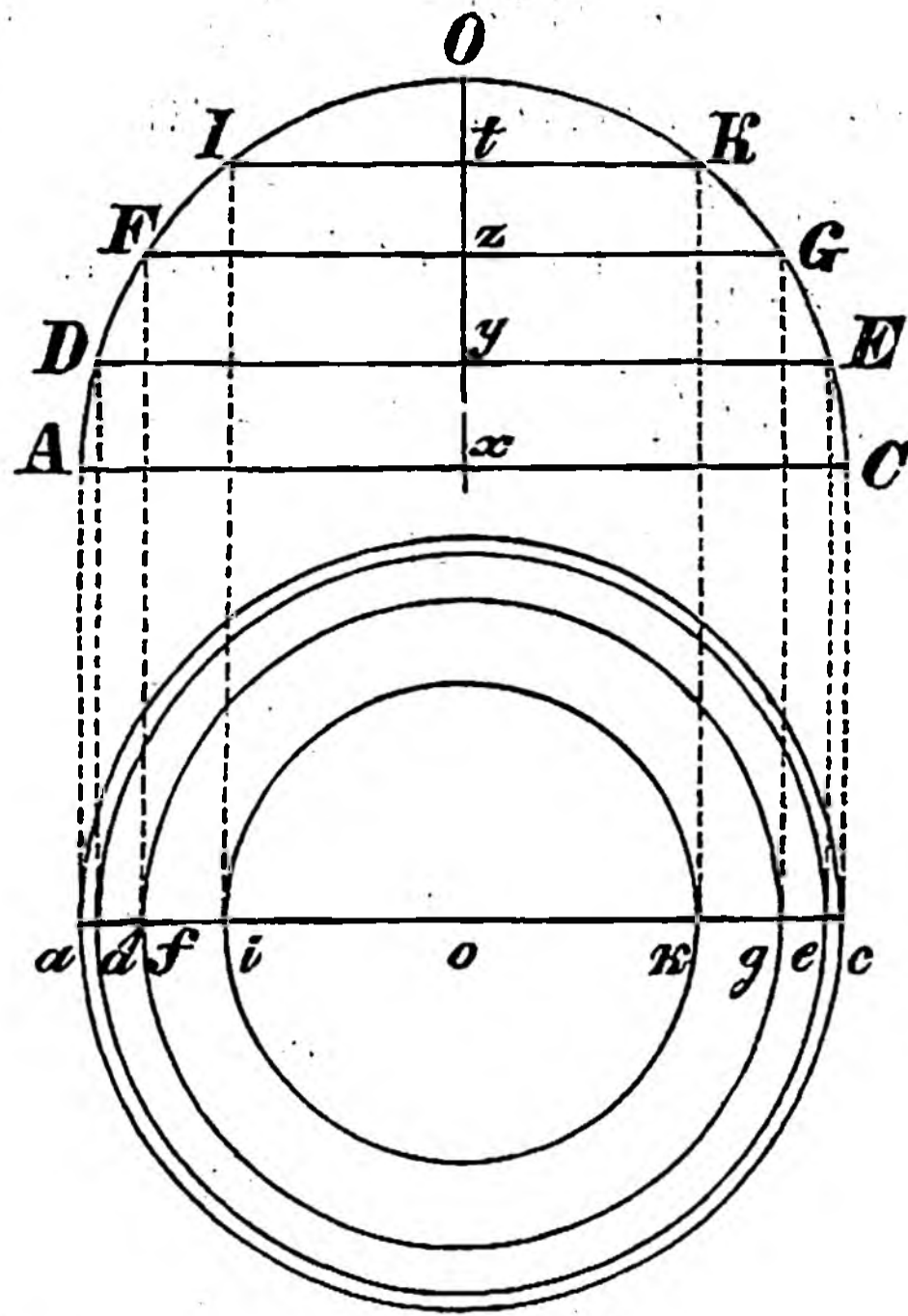
Горизонталы называются также или *изопедами* (кривыми, отстоящими другъ отъ друга въ вертикальномъ отношеніи на одинаковое число *футовъ*), или *изохипсами* (кривыми, точки которыхъ лежатъ на одинаковой высотѣ).

концентрическими равноотстоящими окружностями, ибо проекции центров  $x, y, z, \dots$  окружностей  $AC, DE, \dots$  получатся въ одной общей точкѣ  $o$ , и по равенству  $xy, yz, zt, \dots$  будемъ имѣть также  $AD = DF = FI = \dots$  и  $ad = df = fi \dots$ . Поверхность наклоннаго конуса  $AOC$  (черт. 406) съ круговымъ основаніемъ, хотя тоже изобразится въ проекціи окружностями, но не concentрическими и неравноотстоящими, ибо центры  $x, y, z, \dots$  окружностей  $AC, DE, FG, \dots$  не лежатъ на оси

Черт. 406.

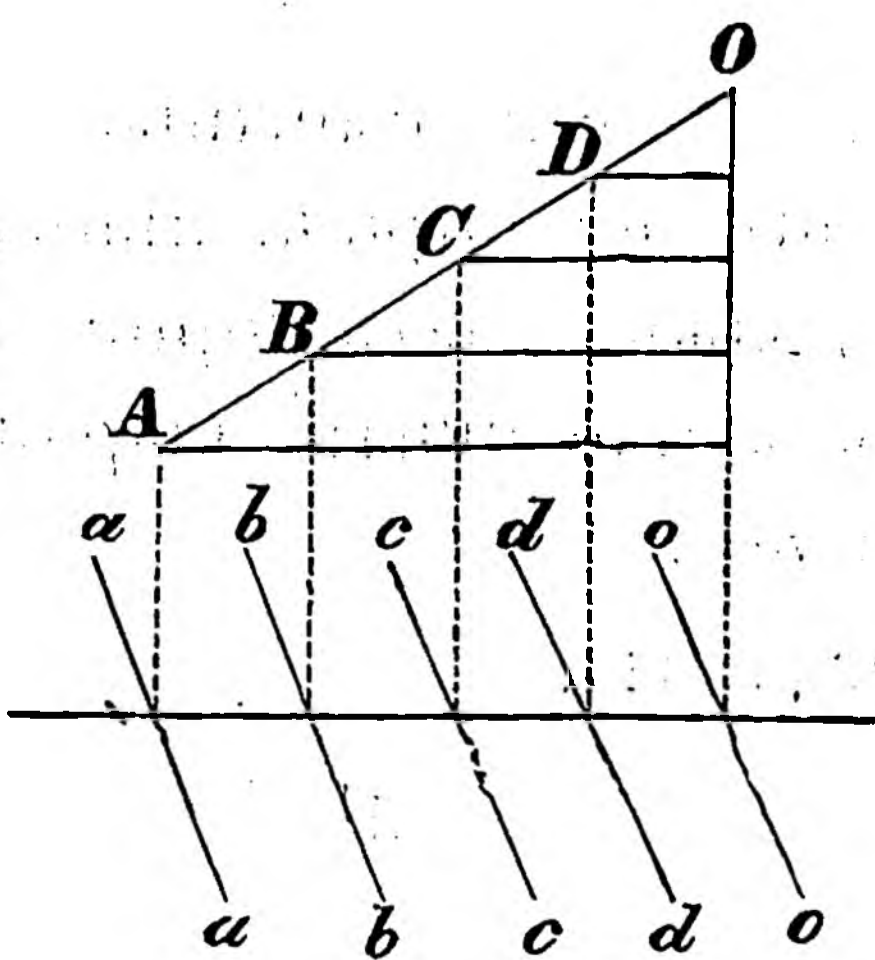


Черт. 407.

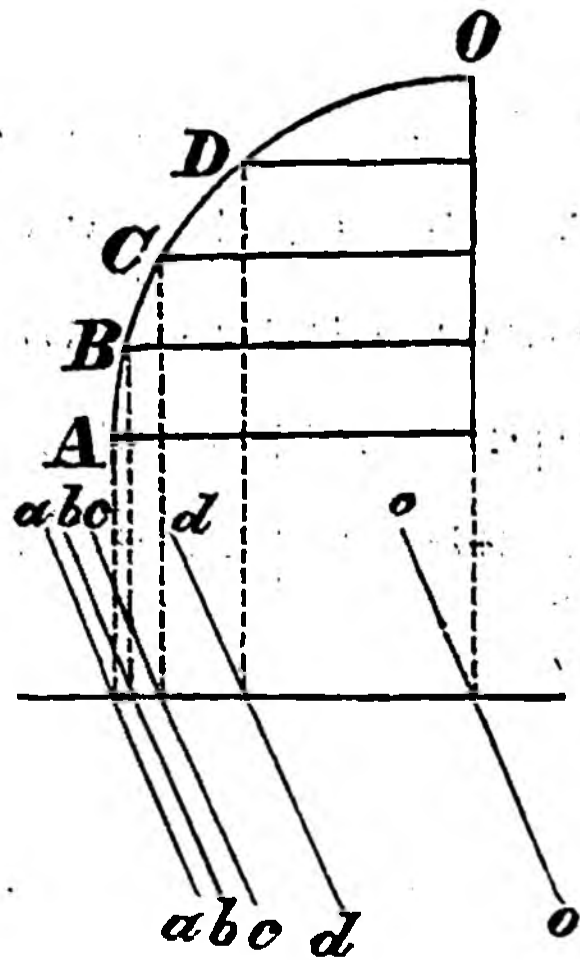


конуса и разстоянія между окружностями на проекціи различны въ разныхъ мѣстахъ. Поверхность шара  $AOC$  (черт. 407) изобразится concentрическими неравноудаленными окружностями. Наклонная плоскость  $AO$  (черт. 408) изобразится прямыми:  $aa, bb, cc, \dots$ . Горизонталы:

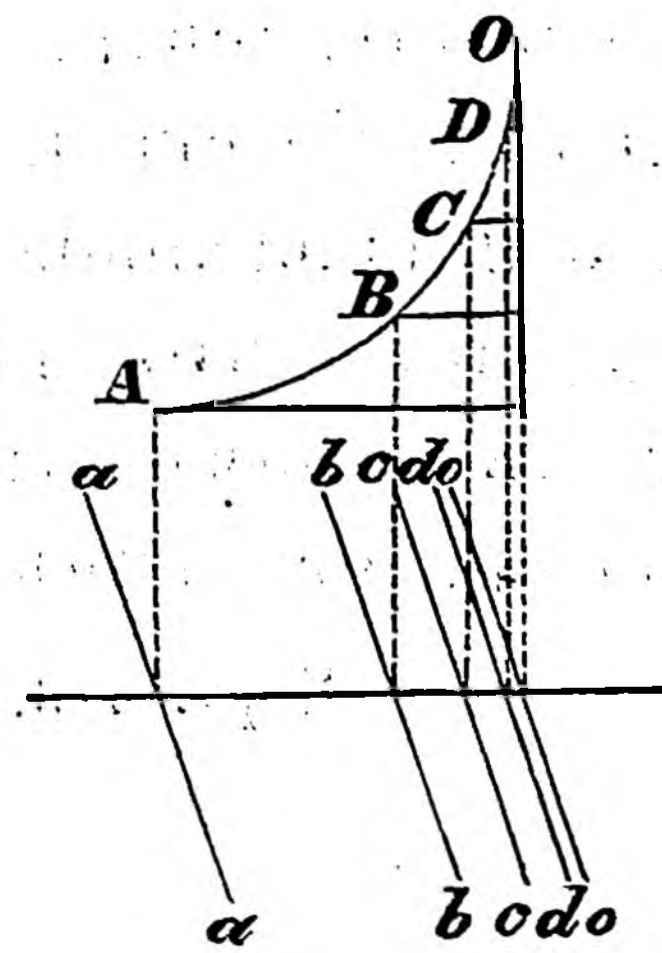
Черт. 408.



Черт. 409.



Черт. 410

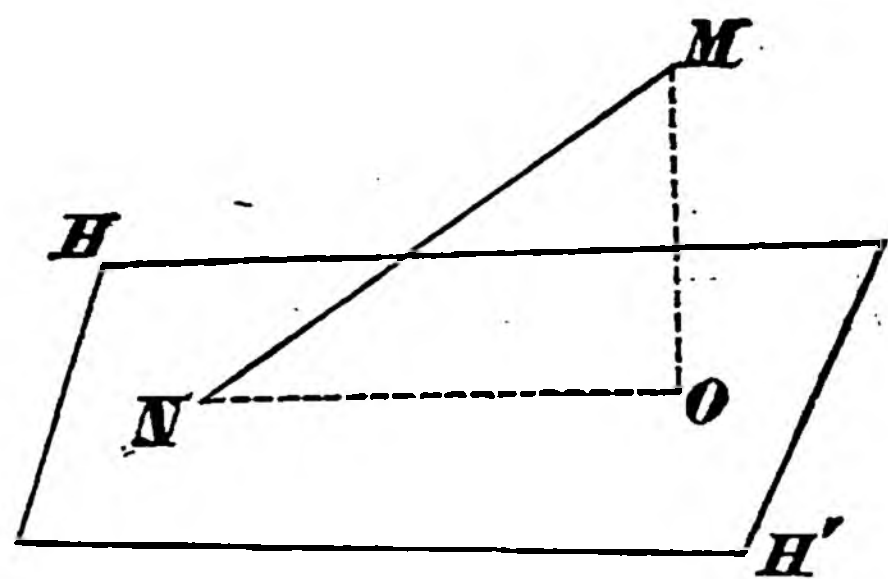


$aa, bb, cc, \dots$  (черт. 409) выпуклой цилиндрической поверхности, образующая которой горизонтальна суть постепенно, отъ вершины къ подошвѣ, сближающіяся другъ съ другомъ прямыя параллельныя линіи, а такія же, горизонталы чертежа 410, но постепенно удаляющіяся представляютъ вогнутую цилиндрическую поверхность съ горизонтальной образующей. Этими примѣрами разумѣется не исчерпываются всѣ

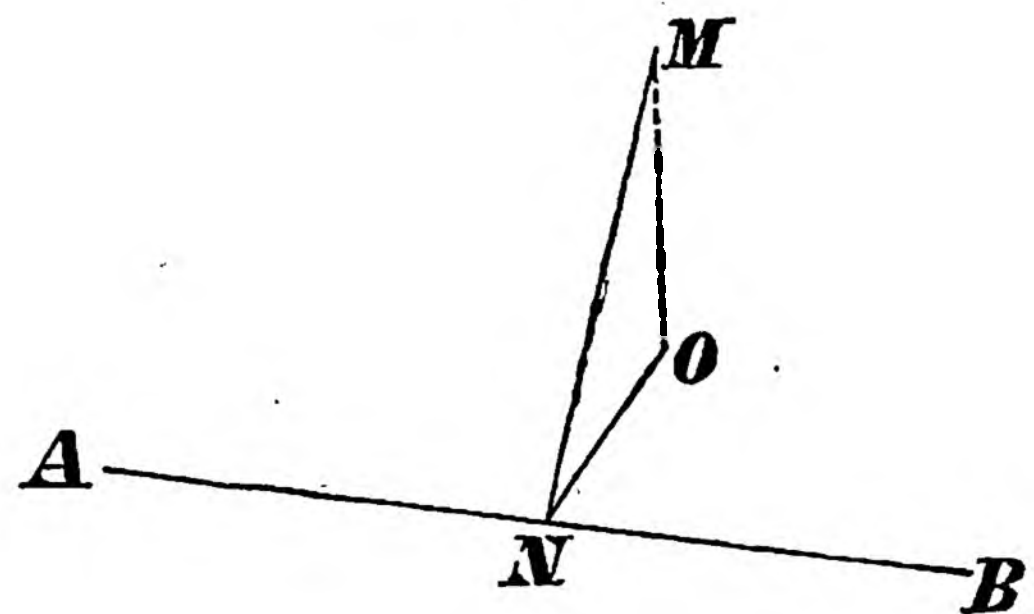
видоизмѣненія неровностей мѣстности, которыя чрезвычайно разнообразны, тѣмъ не менѣе они показываютъ, что, вдумываясь въ расположеніе горизонталей на планѣ, можно всегда составить себѣ понятіе о *формахъ неровности*, ими изображаемой.

*Крутизна ската* обусловливается угломъ наклоненія покатости, — чѣмъ онъ болѣе, тѣмъ болѣе и крутизна; *направленіе же ската* опредѣляется линіею стока свободно текущей по покатости воды; а такъ какъ вода слѣдуетъ по такой линіи, которая имѣетъ наибольшій уголъ наклоненія или, иначе, наибольшую крутизну, то направленіе ската есть линія наибольшей крутизны или, какъ говорятъ, линія наибольшаго паденія, потому что паденіемъ линіи  $MN$  (черт. 411) называется отношеніе  $\frac{OM}{ON}$ , гдѣ  $OM$  есть высота точки  $M$  надъ горизонтальною плоскостью  $HN'$ , а  $NO$  — горизонтальное проложеніе линіи  $MN$ . Не

Черт. 411.



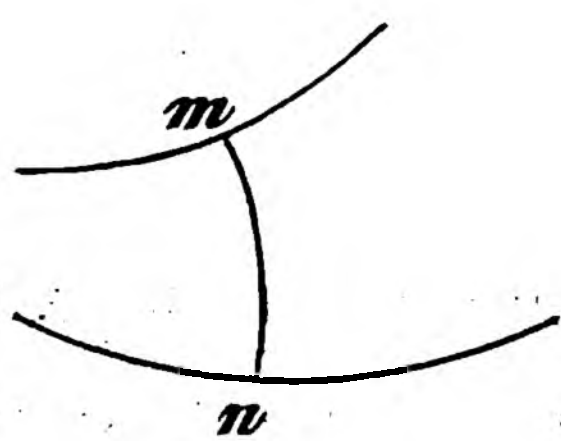
Черт. 412.



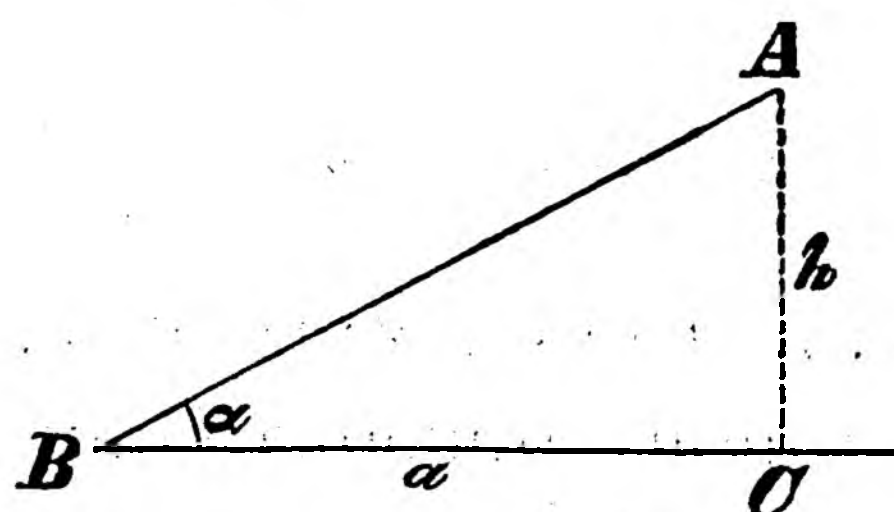
трудно видѣть, что проекція линіи наибольшаго паденія на планѣ перпендикулярна къ горизонталямъ. Такъ положимъ, что  $AB$  (черт. 412) есть горизонталь, а направленіе ската отъ точки  $M$  мѣстности опредѣляется линіею  $MN$ , которая, какъ линія наибольшей крутизны, должна лежать въ плоскости, перпендикулярной къ  $AB$  и проходящей чрезъ точку  $M$ . Если теперь опустимъ изъ  $M$  перпендикуляръ  $MO$  на горизонтальную плоскость линіи  $AB$ , то  $NO$  будетъ проекціею  $MN$  и будетъ вмѣстѣ съ тѣмъ перпендикулярна къ горизонтали  $AB$ ; что и требовалось объяснить.

Направленіе ската выражается прямою тогда, когда смежныя горизонтали параллельны между собою; если же онѣ не параллельны, то, въ виду того, что линія наибольшаго паденія должна быть перпендикулярна къ обѣимъ этимъ горизонталямъ, направленіе ската выразится линіею кривою, какъ напр. на черт. 413 линія  $mn$ .

Черт. 413.



Черт. 414.



Если  $AB$  (черт. 414) есть направленіе ската,  $AC = h$  — отвѣсное разстояніе между горизонтальными сѣченіями и  $ABC = \alpha$  — уголъ наклоненія покатости, то  $BC = a$  называется *заложеніемъ* ската при высотѣ  $h$ .

Это заложение, выражающее также расстояние между горизонталями на планѣ, увеличивается при одномъ и томъ же углѣ наклоенія съ увеличеніемъ  $h$ , т. е. съ увеличеніемъ отвѣснаго расстоянія между горизонталями; наоборотъ, при одномъ и томъ же  $h$  заложение ската увеличивается съ уменьшеніемъ угла наклоенія  $\alpha$ . Это видно изъ равенства

$$a = h \cot \alpha,$$

въ которомъ  $a$  будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе  $h$  и чѣмъ болѣе  $\cot \alpha$  или, иначе, чѣмъ менѣе  $\alpha$ , ибо котангенсъ увеличивается съ уменьшеніемъ угла и уменьшается съ увеличеніемъ его. *Слѣдоват. съ увеличеніемъ крутизны покатости, расстояние между горизонталями, ее изображающими, должно уменьшаться — и наоборотъ.* Графически это подтверждается и чертежами отъ 406 до 410.

Изъ послѣдней формулы имѣемъ

$$\cot \alpha = \frac{a}{h};$$

слѣдов., измѣривъ по плану заложение  $a$  и раздѣливъ его на отвѣсное расстояние  $h$  между горизонтальными сѣченіями, получимъ котангенсъ угла наклоенія. Чтобы по этому котангенсу опредѣлить самый уголъ, не прибѣгая къ логарифмамъ, употребляютъ *масштабъ заложений*, который строится по *таблицѣ заложений*. Если въ предыдущей формулѣ для  $a$  сдѣлаемъ  $h = 1$ , а  $\alpha$  равнымъ послѣдовательно

$$1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, 4^\circ, 5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ \text{ и } 45^\circ,$$

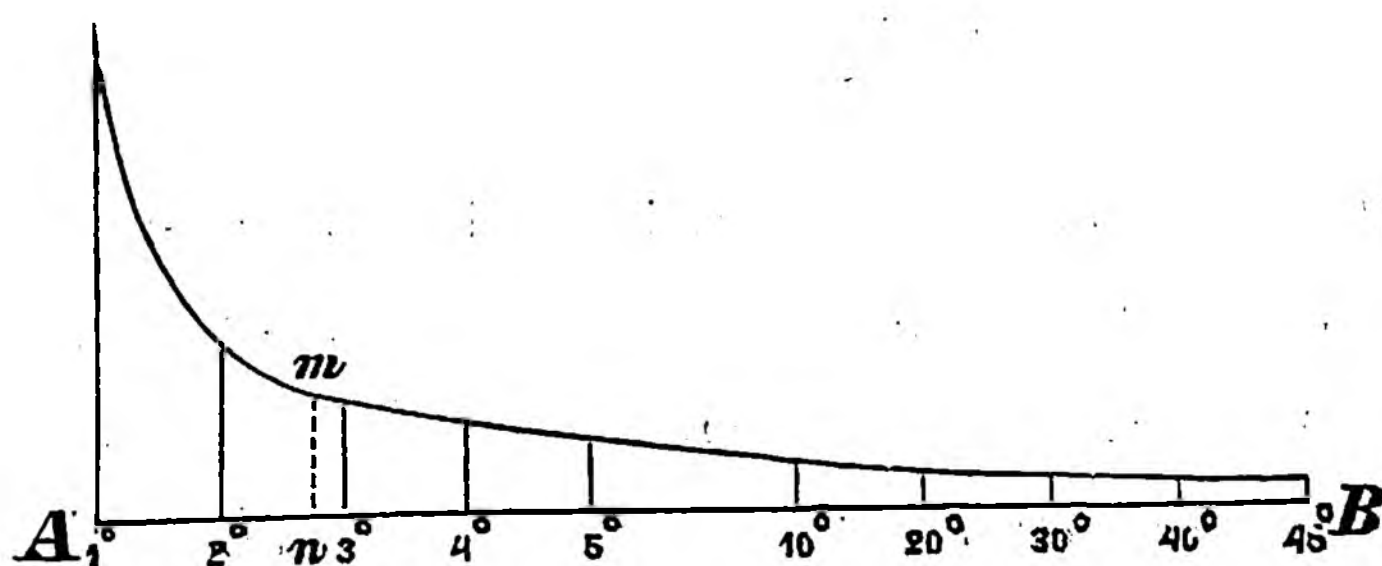
то вычисленіе даетъ слѣдующую таблицу заложений:

Таблица заложений при  $h = 1$  саж.

Углы накл.	1°	2°	3°	4°	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°
Заложения въ саженьяхъ	57,3	28,7	19,1	14,3	11,5	5,7	3,8	2,8	2,2	1,8	1,5	1,2	1,0

Такая таблица можетъ быть вычислена для различныхъ значеній  $h$  и изъ нея можетъ быть получено заложение  $a$  по данному углу  $\alpha$  и наоборотъ.

Черт. 415.



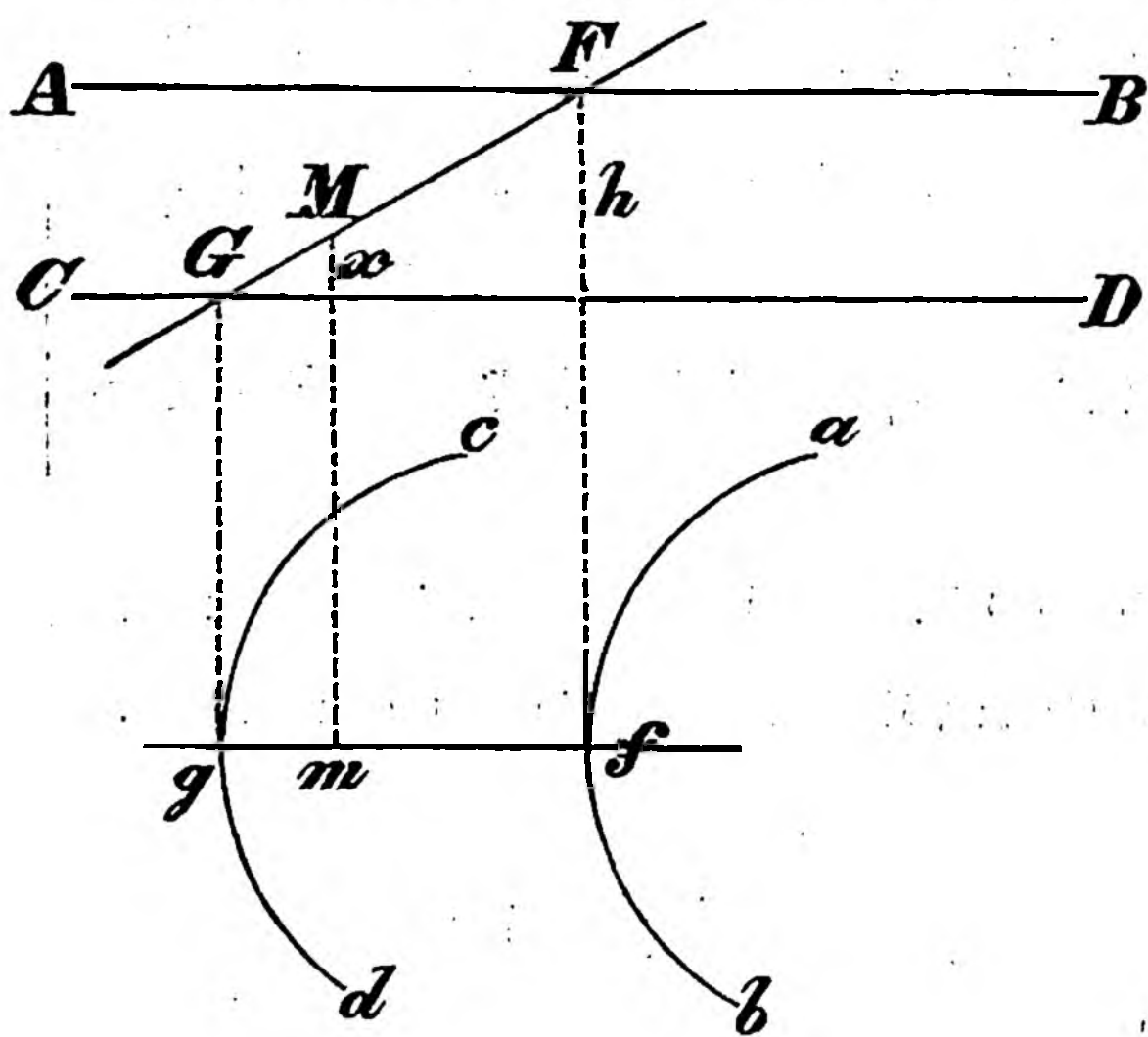
Масштабъ заложений или, иначе, масштабъ крутостей строится такъ: на линіи  $AB$  (черт. 415) откладываются части произвольной между собою величины  $n$ , возставивъ перпендикуляры изъ точекъ отложенія,

наносить на нихъ въ масштабѣ плана вычисленные заложения. Наконецъ, соединивъ концы перпендикуляровъ кривою, получается требуемый масштабъ заложений. Чтобы по этому масштабу опредѣлить въ произвольномъ мѣстѣ плана уголъ наклоненія, измѣряютъ по плану заложение  $a$ , узнаютъ отвѣсное разстояніе  $h$  и дѣлятъ  $a$  на  $h$ ; напр. пусть при  $h = 1$  заложение  $a = 16,7$  саж.; тогда, взявъ по масштабу плана 16,7, опредѣляютъ то мѣсто масштаба заложений, которое равно этому разтворенію циркуля; пусть оно будетъ  $mn$ . Такъ какъ  $mn$  отстоитъ отъ заложения въ  $2^\circ$  примѣрно на  $\frac{3}{4}$  всего разстоянія между заложениями для  $2^\circ$  и  $3^\circ$ , то искомый уголъ наклоненія покатости есть  $2\frac{3}{4}^\circ$ .

Такъ какъ масштабъ крутостей измѣняется съ измѣненіемъ  $h$  и съ измѣненіемъ масштаба плана, то для опредѣленія угла наклоненія по плану съ горизонталями необходимо, чтобы на каждомъ такомъ планѣ былъ начерченъ и масштабъ крутостей.

Покажемъ, что горизонтали даютъ возможность судить *объ относительныхъ высотахъ* точекъ мѣстности. Если данныя точки  $m$  и  $n$  (черт. 406) лежатъ на самыхъ горизонталяхъ, то понятно, что относительная высота ихъ равна числу промежутковъ между горизонталями, на которыхъ лежатъ эти точки, умноженному на отвѣсное разстояніе между горизонталями. Если же одна или обѣ данныя точки лежатъ между горизонталями, то относительная высота ихъ опредѣляется нѣсколько сложнее; а именно, тогда нужно будетъ еще вычислить высоту данной точки надъ горизонталью. Это дѣлается такъ: пусть  $FG$  (черт. 416) есть вертикальный разрѣзъ мѣстности по направленію ската,  $AB$  и  $CD$  горизонтальныя сѣкущія плоскости, отстоящія другъ отъ друга на высоту  $h$ ,

Черт. 416.



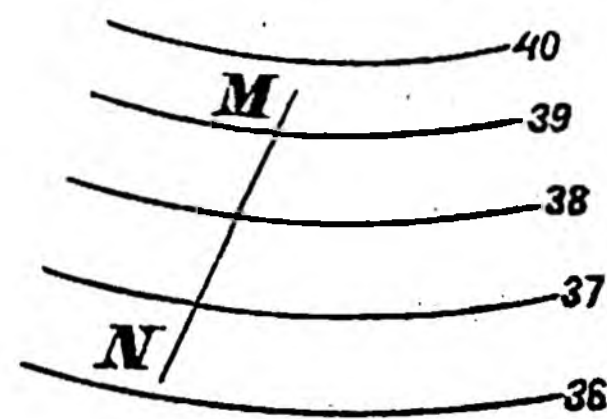
$M$  — данная точка, высоту которой  $x$  надъ плоскостью  $CD$  требуется опредѣлить. Если сѣченіе покатости плоскостью  $AB$  выражается на планѣ горизонтальною  $afb$ , а плоскостью  $CD$  — горизонтальною  $cgd$  и если проекція точки  $M$  на планѣ есть  $m$ , то, измѣривъ заложение  $fg$  и  $gm$ , имѣемъ:

$$x = h \frac{gm}{gf}.$$

Умѣя такимъ образомъ опредѣлять высоту точки надъ горизонталью, не трудно видѣть, что *относительная высота двухъ точекъ, лежащихъ между горизонталями, равна числу цѣлыхъ промежутковъ между горизонталями, заключающимися между данными точками, умноженному на отвѣсное разстояніе между горизонталями + высота высшей изъ данныхъ точекъ надъ ближайшею низшею горизонталью + отвѣсное разстояніе низшей данной точки относительно ближайшей высшей горизонтали.*

Если одна изъ данныхъ точекъ лежитъ на самой горизонтали, то соотвѣтственный членъ равенъ нулю. Если напр. точка *M* (черт. 417) лежитъ выше плоскости 39 горизонтали, а *N* выше плоскости 36 горизонтали, то относительная высота этихъ точекъ равна числу промежутковъ между 37 и 39 горизонталями, т. е. 2, умноженнымъ на отвѣсное между ними разстояніе, + высота точки *M* надъ плоскостью 39 горизонтали + отвѣсное разстояніе точки *N* относительно плоскости 37 горизонтали.

Черт. 417.



Наконецъ, объ опредѣленіи объема (кубическаго содержанія) неровности по даннымъ ея горизонталямъ будетъ изложено ниже въ главѣ о нивелированіи.

**§ 174.** Отвѣсное разстояніе между сѣкущими плоскостями выбирается въ зависимости отъ масштаба плана и крутизны покатостей, встрѣчающихся на изображаемомъ участкѣ, оно должно быть болѣе для мелкихъ масштабовъ и крутыхъ покатостей и менѣе для крупныхъ масштабовъ и отлогихъ покатостей. Въ большинствѣ случаевъ принимаютъ, что разстояніе между горизонталями на планѣ (заложеніе) не должно быть менѣе 0,01 доли дюйма; въ противномъ случаѣ горизонтали будутъ сливаться. Съ другой стороны такъ какъ для наибольшихъ, различаемыхъ на планѣ, покатостей въ 45° заложеніе равно отвѣсному разстоянію между горизонталями, то это послѣднее не должно быть менѣе 0,01 дюйма, которая въ масштабѣ 50 саж. въ дюймѣ соотвѣтствуетъ 0,5 саж.

„	100	„	„	„	„	1,0	„
„	200	„	„	„	„	2,0	„

Таковы должны быть отвѣсныя разстоянія между сѣкущими плоскостями. Въ дѣйствительности же отступаютъ иногда отъ этихъ *нормальныхъ* разстояній, ибо въ гористыхъ мѣстностяхъ при относительной высотѣ сѣченія въ 0,01 дюйма горизонтали могутъ затемнять контуры плана, а въ мѣстностяхъ равнинныхъ онѣ, при той же высотѣ, будутъ настолько рѣдки, что не выразятъ рельефа; вслѣдствіе чего, напр. у насъ на Кавказѣ при мензуральной съемкѣ въ масштабѣ  $\frac{1}{8400}$ , разстояніе между сѣкущими плоскостями увеличиваютъ до 0,05 дюйма (5 саж.).

**§ 175.** Изображеніе неровностей посредствомъ горизонталей дѣлается одновременно со съемкою остальныхъ подробностей; при чемъ обычно-

венно употребляют мензулу съ кипрегелемъ — дальномѣромъ, при помощи которыхъ опредѣляютъ высоты отдѣльныхъ точекъ мѣстности. Имѣя это въ виду, при выборѣ пунктовъ триангуляціи заботятся также и о томъ, чтобы ими опредѣлялись замѣчательнѣйшія точки мѣстности въ орографическомъ отношеніи. Тогда, основываясь на высотахъ этихъ пунктовъ, опредѣляютъ высоты и множества другихъ.

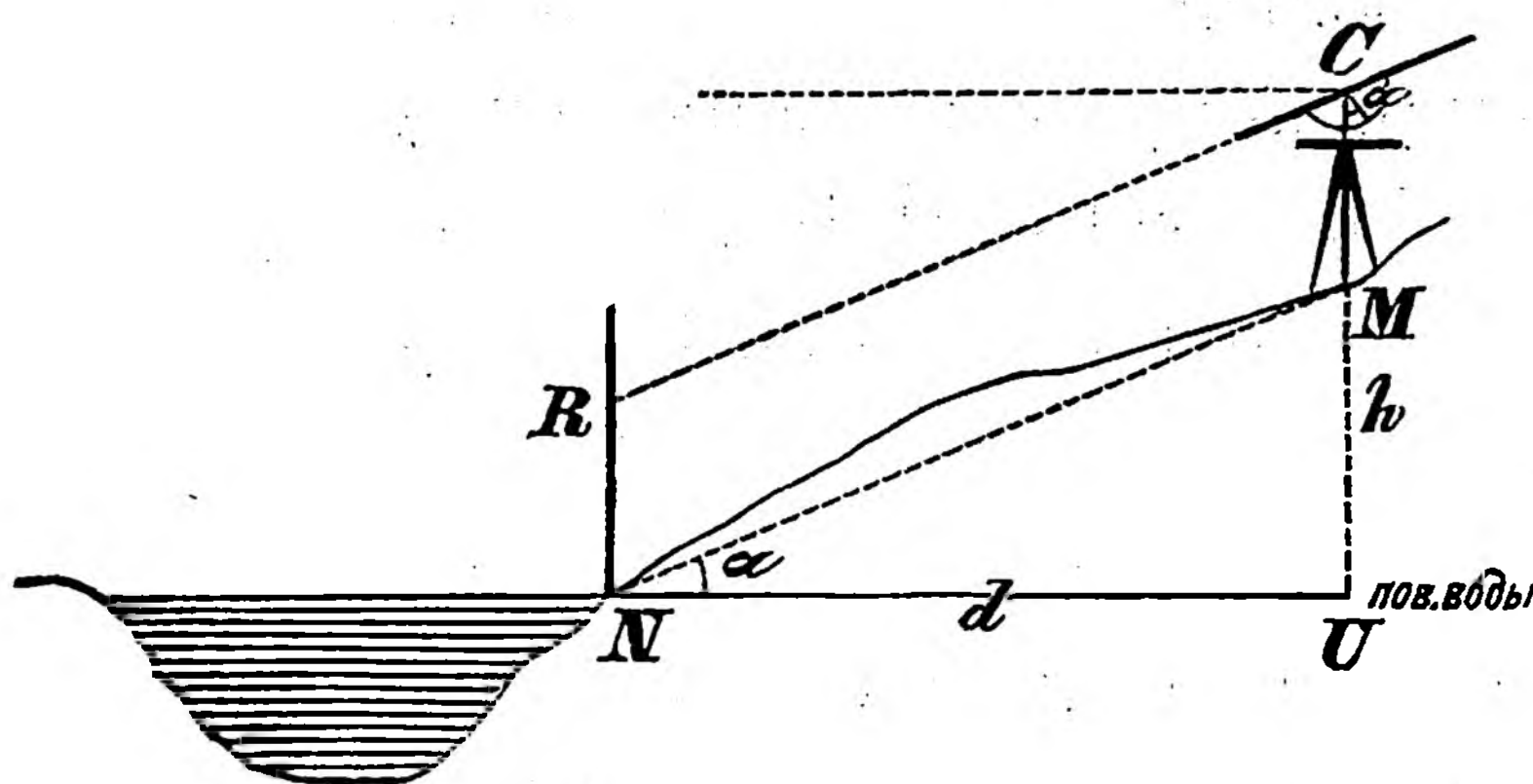
Покажемъ опредѣленіе этихъ высотъ, считающихся обыкновенно или отъ моря, или отъ поверхности какого нибудь другаго водохранилища и называющихся *альтитудами*.\*) Если мѣсто постановки инструмента называть *станціею*, а мѣсто постановки вѣхи или рейки — *пикетомъ*, то ближайшая наша задача будетъ состоять въ опредѣленіи алтитудъ пунктовъ сѣти, станцій и пикетовъ.

Чтобы опредѣлить алтитуды пунктовъ триангуляціи продолжаютъ ее, если надо, до того водохранилища, относительно поверхности котораго будутъ эти алтитуды опредѣляться. Затѣмъ, поставивъ мензулу съ кипрегелемъ вблизи воды въ точку  $M$  (черт. 418), измѣряютъ кипрегелемъ уголъ наклоненія  $\alpha$  на такую мѣтку  $R$  вѣхи  $N$ , поставленной у самаго урѣза воды, высота которой равна высотѣ горизонтальной оси вращения трубы кипрегеля надъ землею. Послѣ этого алтитуда  $h$  точки  $M$  получится по формулѣ

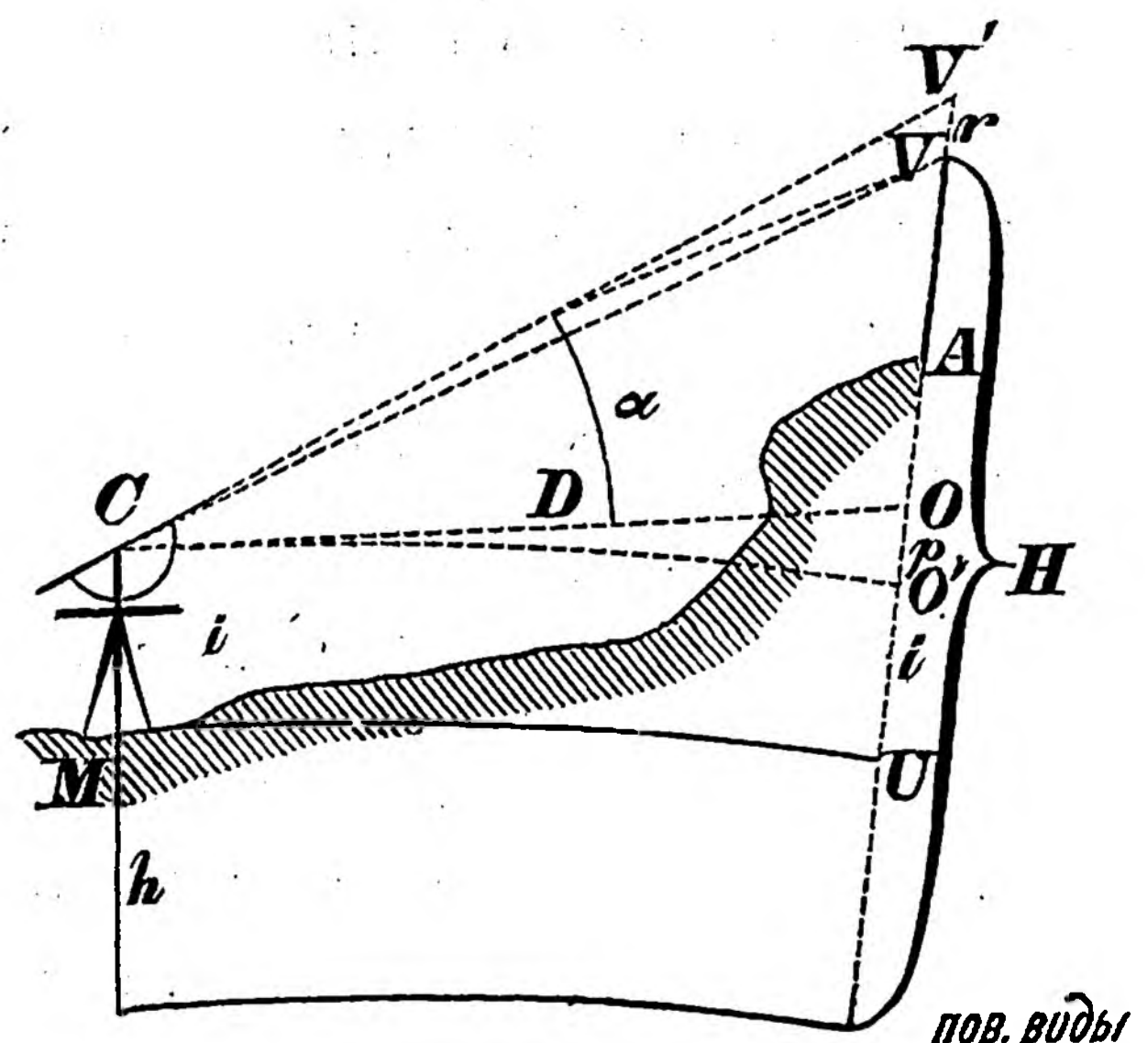
$$h = dtg\alpha,$$

гдѣ  $d$  есть горизонтальное разстояніе, опредѣленное дальномѣромъ. Зная теперь алтитуду точки  $M$ , можно уже будетъ опредѣлять и алтитуды пунктовъ триангуляціи, на которыхъ обыкновенно стоятъ сигналы. Такъ

Черт. 418.



Черт. 419.



какъ въ большинствѣ случаевъ съ точки стоянія инструмента не видно основанія сигналовъ, то опредѣляютъ алтитуды ихъ вершинъ, что дѣлается такъ: если  $M$  (черт. 419) есть точка стоянія мензулы съ кипрегелемъ, известная алтитуда которой есть  $h$ , а  $AV$  — сигналъ, для вершины котораго  $V$  требуется опредѣлить алтитуду  $H$ , то измѣ-

\*) Латинское слово *altitudo* означаетъ высота.

ряютъ въ  $M$  уголъ наклоненія на эту вершину и опредѣляютъ горизонтальное разстояніе  $CO = D$  до сигнала; при этомъ, такъ какъ вслѣдствіе преломленія лучей свѣта въ атмосферѣ точка  $V$  кажется наблюдателю, стоящему въ  $M$ , нѣсколько выше дѣйствительнаго своего мѣста, а именно въ  $V'$ , то измѣряемый уголъ наклоненія  $\alpha$  будетъ увеличенъ на уг.  $V'CV'$ , который называется *рефракціоннымъ*\*). Это увеличеніе угла наклоненія увеличитъ и высоту вершины сигнала на величину  $r$ , называемую *поправкою отъ рефракціи*. Кромѣ того, вслѣдствіе шарообразности земли, горизонтальная линія  $CO$  не совпадаетъ собственно съ дугою  $CO'$ , концентрическою съ продолженною поверхностью воды, и на разстояніи  $D$  произведетъ въ высотѣ измѣненіе  $p$ . На основаніи всего этого, альтитуда  $H$  вершины  $V$  сигнала будетъ:

$$H = h + i + p + OV' - r,$$

гдѣ  $i$  есть высота инструмента, а  $OV'$  опредѣлится изъ треугольника  $OCV'$ , мало уклоняющагося отъ прямоугольнаго; такъ что  $OV' = D \operatorname{tg} \alpha$ . Подставляя это въ предыдущую формулу и обозначая разность  $p - r$ , представляющую поправку отъ кривизны земли и рефракціи, чрезъ  $f$ , имѣемъ

$$H = h + D \operatorname{tg} \alpha + i + f. \quad (I)$$

Не останавливаясь сейчасъ на выводѣ формулы, опредѣляющей поправку  $f$ , а оставивъ это до будущаго, замѣтимъ только что при данномъ радіусѣ земли она зависитъ единственно отъ разстоянія  $D$  до сигнала и что вообще она есть величина очень малая; такъ что только при разстояніяхъ свыше 800 саж. дѣлается болѣе 0,1 саж., что видно изъ слѣдующей таблицы:

Разстоянія.	Поправка $f$ .
100 саж.	0,00
200    "	0,01
300    "	0,01
400    "	0,02
500    "	0,04
600    "	0,05
700    "	0,07
800    "	0,09
900    "	0,11
1000   "	0,14
1100   "	0,17
1200   "	0,20
1300   "	0,24
1400   "	0,28
1500   "	0,32.

\*) Лат. слово *refractio* означаетъ послѣдовательное преломленіе.



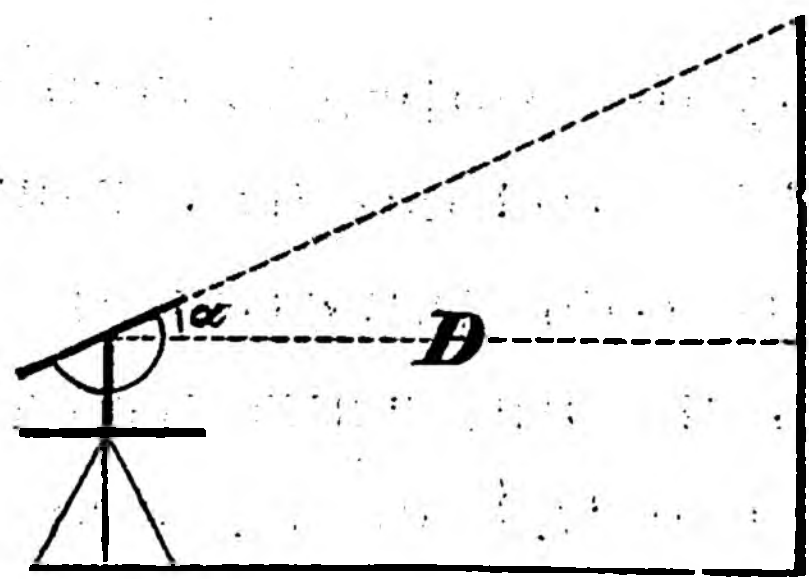
Чтобы теперь, имѣя альтитуду вершины сигнала, получить альтитуду основанія его или, собственно, альтитуду пункта триангуляціи, нужно изъ альтитуды вершины вычесть высоту сигнала  $AV$ , которая для вѣхи можетъ быть опредѣлена непосредственнымъ измѣреніемъ при ея постановкѣ, а для другихъ сигналовъ опредѣляется такимъ образомъ: помѣстивъ мензулу съ кипрегелемъ неподалеку отъ сигнала, замѣчаютъ на немъ точку  $K$  (черт. 420), соответствующую горизонтальному лучу зрѣнія, и опредѣляютъ разстояніе  $D$ ; тогда, измѣривъ непосредственно величину  $n$  — высоту горизонтального луча зрѣнія отъ основанія сигнала — и уголъ наклоненія  $\alpha$  на вершину его, получаютъ

$$m = D \operatorname{tg} \alpha;$$

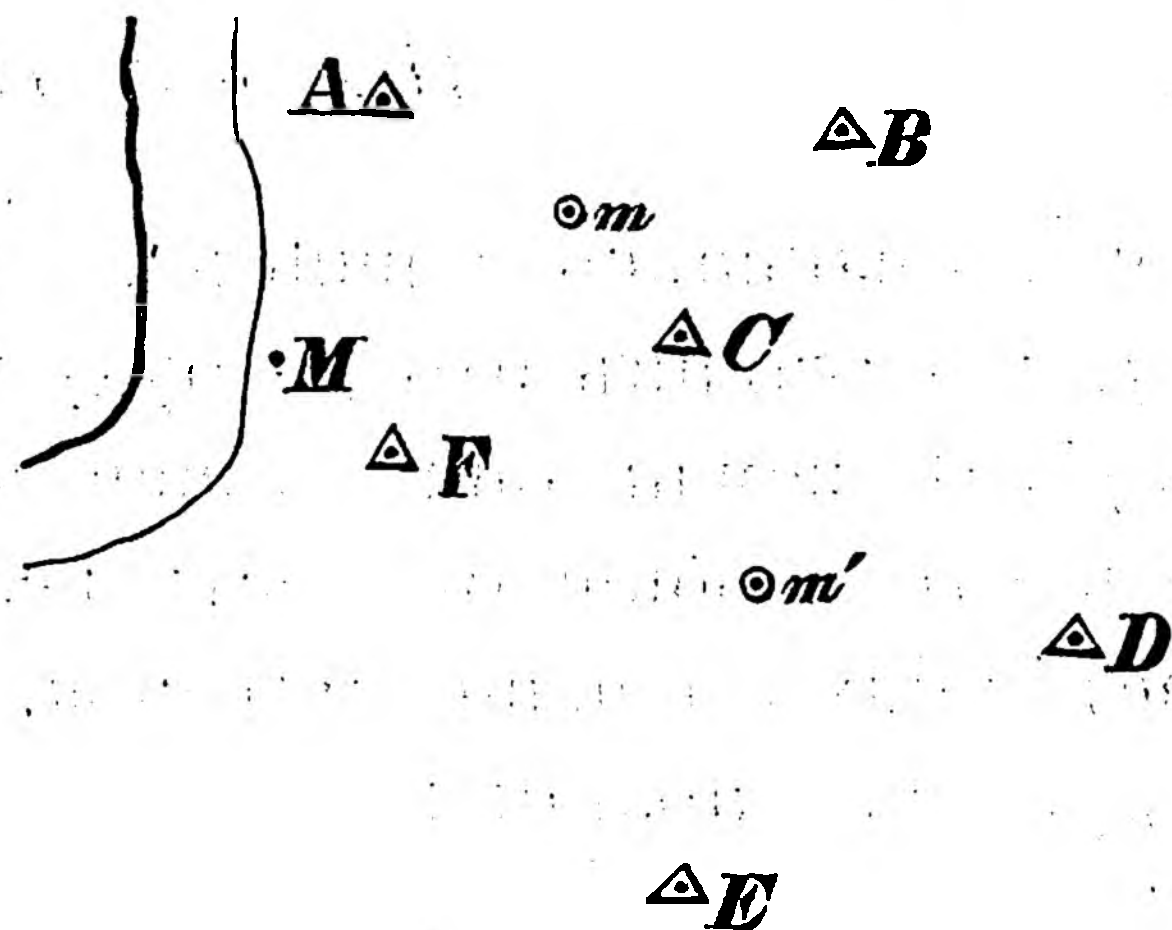
а вся высота сигнала будетъ  $m + n$ .

И такъ формула (I) можетъ служить для вычисленія альтитудъ пунктовъ съѣти; при чемъ нельзя забывать, что для полученія искомой альтитуды надо вычесть изъ полученнаго результата высоту сигнала. Въ случаѣ, если наблюдалась не вершина сигнала, а основаніе его, то

Черт. 420.



Черт. 421.



понятно что формула (I) не измѣнится и результатъ вычисленія ея будетъ выражать альтитуду основанія сигнала.

Формула (I) можетъ быть написана и такъ:

$$h = H - D \operatorname{tg} \alpha - i - f. \quad (II)$$

Въ этомъ видѣ она употребляется для опредѣленія альтитуды  $h$  станціи по данной альтитудѣ  $H$ .

На основаніи формулъ (I) и (II) альтитуды пунктовъ триангуляціи опредѣляются въ такомъ порядкѣ. Пусть  $A, B, C, D, E$  и  $F$  (черт. 421) суть пункты триангуляціи, а  $M$  — пунктъ, взятый вблизи того водохранилища, относительно поверхности воды котораго должны быть опредѣлены альтитуды. Сначала опредѣляютъ по предыдущему непосредственно альтитуду точки  $M$ , а затѣмъ, измѣривъ углы наклоненія на всѣ видимые изъ  $M$  сигналы и имѣя разстоянія до нихъ на планшетѣ, вычисляютъ альтитуды по формулѣ (I); положимъ, что такимъ путемъ опредѣлились альтитуды пунктовъ  $A$  и  $F$ . Для опредѣленія альтитудъ другихъ пунктовъ триангуляціи переносятъ инструментъ въ точку  $m$ , опредѣляютъ ее на планшетѣ по тремъ даннымъ или какъ нибудъ иначе

и, измеривъ углы наклоенія на  $A$  и  $F$ , а также по планшету разстоянія  $mA$  и  $mF$ , вычисляють альтитуду точки  $m$  по имѣющимся альтитудамъ пунктовъ  $A$  и  $F$  и руководствуясь формулою (II). Изъ полученныхъ при этомъ для точки  $m$  результатовъ берутъ среднее арифметическое, которое и принимаютъ за ея альтитуду. Далѣе измеряють углы на видимые пункты  $B$  и  $C$  триангуляціи и по формулѣ (I) вычисляютъ ихъ альтитуды. Наконецъ переходятъ съ инструментомъ въ  $m'$ , опредѣляютъ альтитуду ея по пунктамъ  $B$ ,  $C$  и  $F$  и альтитуды пунктовъ  $D$  и  $E$ . Въ такомъ порядкѣ продолжаютъ далѣе до тѣхъ поръ, пока опредѣлятся альтитуды всѣхъ пунктовъ съѣти.

Альтитуды каждой изъ станцій  $m, m', \dots$  опредѣляются по крайней мѣрѣ по двумъ альтитудамъ пунктовъ съѣти, что дѣлается для повѣрки опредѣленій альтитудъ этихъ пунктовъ, для повѣрки опредѣленій альтитудъ станцій и наконецъ для полученія болѣе точной окончательной альтитуды станціи въ видѣ средняго арифметическаго изъ отдѣльныхъ результатовъ. Ни одна изъ альтитудъ пунктовъ съѣти не должна остаться при этомъ безъ повѣрки. Разность между отдѣльными результатами для одного и того же пункта, вслѣдствіе накопленія случайныхъ погрѣшностей, будетъ разумѣется возрастать по мѣрѣ удаленія отъ начала работы; тѣмъ не менѣе она никогда не должна превышать 0,5 сажени. Для избѣжанія значительныхъ ошибокъ въ высотахъ не слѣдуетъ дѣлать опредѣленій по пунктамъ, удаленнымъ отъ станціи болѣе чѣмъ на двѣ версты.

Можно вычислить величину ошибки въ альтитудѣ, которую можно допустить для даннаго разстоянія до сигнала и при опредѣленной точности отсчитыванія по вертикальному кругу кипрегеля; и наоборотъ — можно вычислить наибольшее разстояніе, при которомъ ошибка въ альтитудѣ не должна превышать данной величины. Дифференцируя извѣстную формулу

$$h = D \operatorname{tg} \alpha$$

по переменнымъ  $h$  и  $\alpha$ , имѣемъ

$$dh = D \frac{d\alpha}{\cos^2 \alpha};$$

откуда можно вычислить  $dh$ , т. е. ошибку въ альтитудѣ по даннымъ: разстоянію  $D$  и точности  $d\alpha$  измеренія угла наклоенія. Изъ предыдущей формулы имѣемъ также

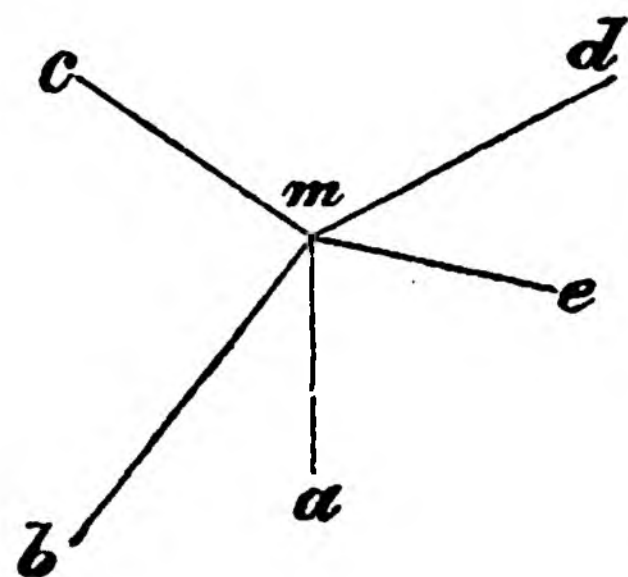
$$D = \frac{dh \cdot \cos^2 \alpha}{d\alpha}$$

для вычисленія высшаго предѣла разстоянія, при которомъ ошибка въ альтитудѣ не превышаетъ даннаго числа  $dh$ . Напр., чтобы  $dh$  не превышало 0,1 сажени при точности 1' наибольшаго, встрѣчающагося на данной мѣстности, угла наклоенія въ  $10^\circ$ ,  $D$  не должно быть болѣе почти 333,5 саж.; и наоборотъ, если  $D$  не превышаетъ этого числа, то ошибка  $dh$  будетъ менѣе 0,1 саж. Если же уголь наклоенія измеренъ съ точностью до 0',5, то та же ошибка въ 0,1 саж. въ высотѣ будетъ при  $D = 667$  саж.

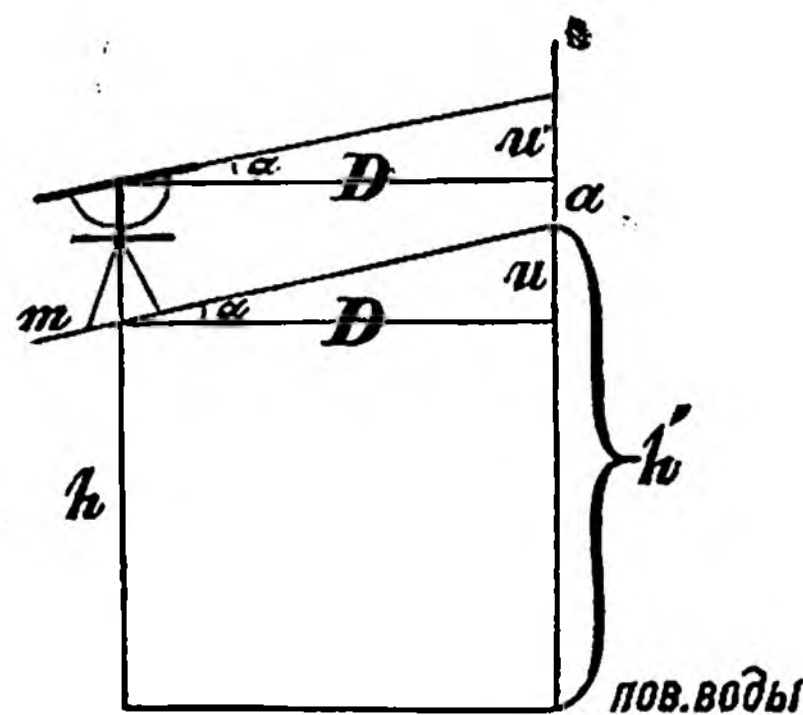
При вычислении обѣихъ предыдущихъ формулъ надо подѣ  $d\alpha$  понимать не градусную величину дуги, а ея длину; при чемъ  $d\alpha =$  числу минутъ въ дугѣ  $\times \sin 1'$ .

Для изображенія на планѣ горизонталями неровностей мѣстности недостаточно знать альтитуды только пунктовъ триангуляціи, но необходимо имѣть альтитуды такого числа точекъ, чтобы линіи, ихъ соединяющія на землѣ, могли быть разсматриваемы за прямыя. Опрежденіе альтитудъ этихъ точекъ, иначе *пикетовъ*, производится такъ: вставъ съ инструментомъ въ какую нибудь точку  $m$  (черт. 422), опредѣляютъ положеніе ея на планшетѣ, измѣряютъ съ нея углы наклоненія на нѣсколько пунктовъ сѣти и вычисляютъ альтитуды точки  $m$  по формулѣ (II), какъ среднее ариѳметическое изъ отдѣльныхъ результатовъ. Затѣмъ

Черт. 422.



Черт. 423.



выставляютъ рейку въ точки  $a, b, c, d, e, \dots$  по направленію скатовъ и при томъ по возможности въ концахъ ихъ, опредѣляютъ дальномѣромъ разстоянія до этихъ точекъ и измѣряютъ соответственные углы наклоненія. По этимъ даннымъ можно уже опредѣлить альтитуды пикетовъ. Такъ, если  $am$  (черт. 423), скать подѣ угломъ  $\alpha$ , имѣетъ горизонтальное проложеніе  $D$ , то, вообразивъ въ  $a$  вѣху, на которой отложена высота инструмента, и измѣривъ уголъ наклоненія  $\alpha$ , альтитуда  $h'$  пикета будетъ

$$h' = h + u,$$

гдѣ  $h$  есть альтитуда станціи, а  $u$  — разность высотъ точекъ  $m$  и  $a$ ; при чемъ  $u = D \operatorname{tg} \alpha$ . Вслѣдствіе чего

$$h' = h + D \operatorname{tg} \alpha. \quad (\text{III})$$

Эта формула справедлива и для мѣстности понижающейя, ибо тогда уголъ наклоненія будетъ сопровождаться знакомъ минусъ; вслѣдствіе чего будемъ имѣть

$$h' = h - D \operatorname{tg} \alpha.$$

Опредѣливъ альтитуды всѣхъ пикетовъ съ точки  $m$ , переходятъ съ инструментомъ въ другую точку, съ которой опредѣляютъ альтитуды вокругъ ея лежащихъ пикетовъ; и такъ продолжаютъ далѣе до тѣхъ поръ, пока вся снимаемая мѣстность будетъ покрыта пикетами.

§ 176. Въ предыдущемъ видѣли, что въ формулы для альтитудъ пунктовъ сѣти, станцій и пикетовъ входитъ членъ  $D \operatorname{tg} \alpha$ , вычисленіе кото-

раго по логарифмамъ не совсѣмъ удобно на мѣстности; а потому для полученія числоваго значенія его по даннымъ  $D$  и  $\alpha$  пользуются или *таблицею высотъ*, или особою діаграммою, называемою *масштабомъ высотъ*, или же наконецъ *вычислительною линейкою Вильда*, называемою также *логарифмическою*.

*Таблица высотъ*, приложенная въ концѣ книги подъ № VIII, составлена по формулѣ

$$u = D \operatorname{tg} \alpha,$$

вычисленной для  $D$  отъ 100 до 900 саж. чрезъ каждыя 100 саж. и для угловъ наклоненія  $\alpha$  отъ  $0^\circ$  до  $10^\circ$ , — при чемъ отъ  $0^\circ 1'$  до  $0^\circ 10'$  чрезъ  $1'$ , а отъ  $0^\circ 10'$  до  $10^\circ 0'$  чрезъ  $10'$ . Величины  $u$ , соотвѣтствующія какимъ либо промежуточнымъ значеніямъ  $D$  и  $\alpha$ , получаютъ простою пропорціональностью.

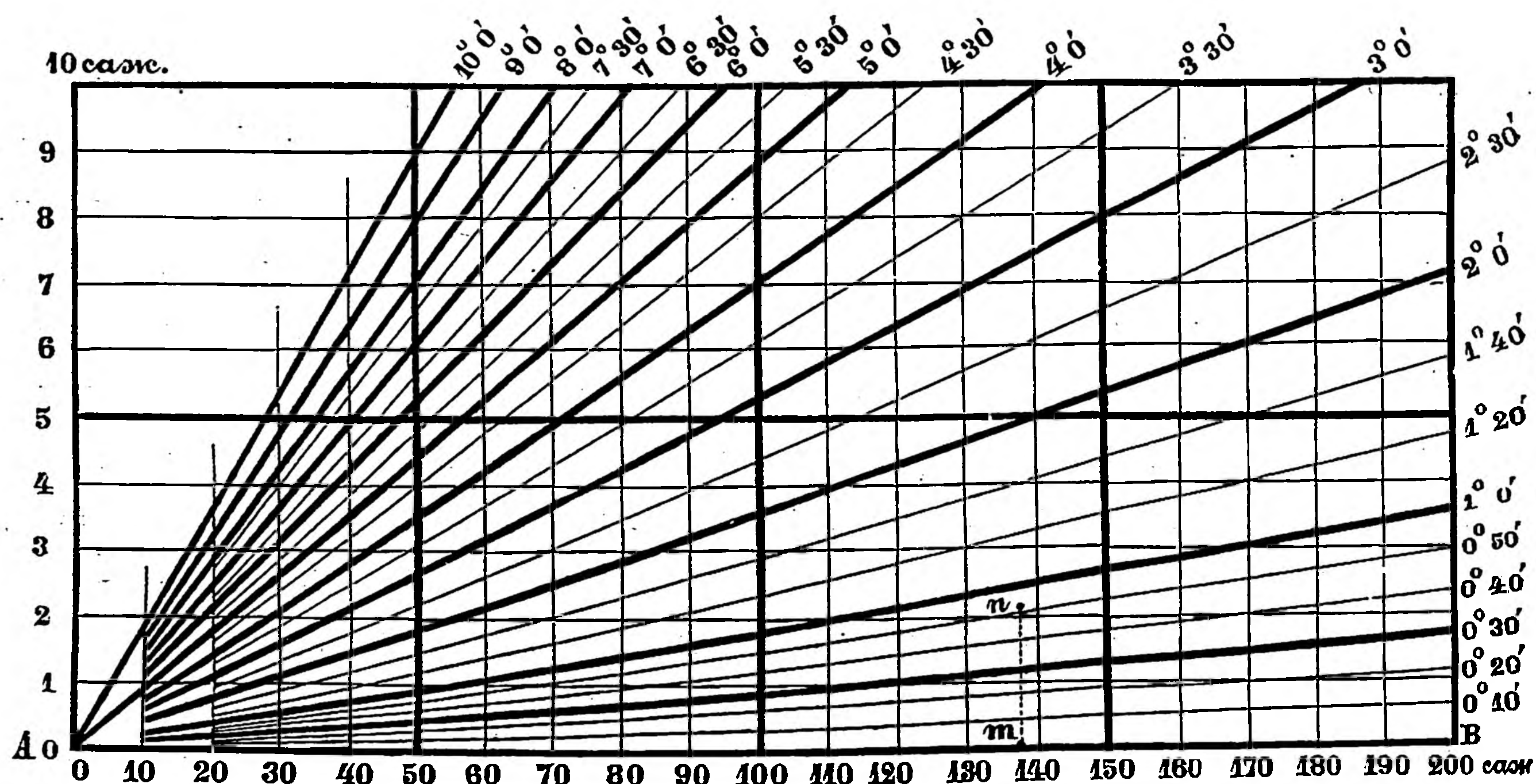
*Примѣръ.* Дано:  $D = 543$  саж. и  $\alpha = 3^\circ 17',5$ . Прямо изъ таблицы для  $D = 500$  с. и  $\alpha = 3^\circ 10'$  имѣемъ  $u = 27,66$  с.; на той же горизонтальной строцкѣ для 40 или собственно для 400, уменьшенныхъ въ 10 разъ, имѣемъ 2,21, а для 3 иначе для 300, уменьшенныхъ въ 100 разъ, имѣемъ 0,17. Сумма  $27,66 + 2,21 + 0,17 = 30,04$  с., соотвѣтствующая  $3^\circ 10'$ , но не  $3^\circ 17',5$ , должна быть исправлена на высоту, соотвѣтствующую  $7'$ , т. е. на  $1,02 + 0,08 + 0,01 = 1,11$ , вычисленную по предыдущему, и на высоту, соотвѣтствующую  $0',5$  т. е. на  $0,07 + 0,01 = 0,08$ ; вслѣдствіе чего окончательно для 543 с. и  $3^\circ 17',5$  будетъ  $30,04 + 1,11 + 0,08 = 31,23$  саж. Это число сопровождается тѣмъ же знакомъ — плюсъ или минусъ, который стоитъ при измѣренномъ углѣ наклоненія.

Этотъ способъ полученія произведенія  $D \operatorname{tg} \alpha$  хотя и достаточно точенъ, тѣмъ не менѣе онъ весьма продолжителенъ; а потому и употребляется только при вычисленіи альтитудъ пунктовъ сѣти и станцій. При этомъ въ первомъ случаѣ для полученія альтитуды пункта триангуляціи надо, согласно формулы (I) предыдущаго параграфа, къ полученному изъ таблицы числу ( $D \operatorname{tg} \alpha$ ) придать альтитуду ( $h$ ) станціи, высоту ( $i$ ) инструмента и поправку ( $f$ ) отъ кривизны земли и рефракціи; а во второмъ случаѣ для полученія альтитуды станціи надо, согласно формулы (II), изъ альтитуды ( $H$ ) пункта сѣти вычесть полученное изъ таблицы число ( $D \operatorname{tg} \alpha$ ), высоту ( $i$ ) инструмента и поправку ( $f$ ) отъ кривизны земли и рефракціи. Окончательный результатъ округляется до десятыхъ долей сажени. Иногда, не смотря на неудобство, вычисленіе произведенія  $D \operatorname{tg} \alpha$  дѣлаютъ на мѣстности четырехзначными логарифмами.

Для вычисленія альтитудъ пикетовъ, которое должно быть произведено быстрѣе и требуетъ меньшей точности, пользуются *масштабомъ высотъ*; при чемъ произведеніе получается графически. Онъ строится такъ: на бумагѣ проводится линія  $AB$  (черт. 424), на которой начиная отъ  $A$  отложены произвольныя, но равныя между собою части, подписанныя 10, 20, 30, . . . . 100, . . . . 200 саж. Изъ точки  $A$  и концовъ этихъ частей возставлены перпендикуляры; изъ нихъ на крайнемъ слѣва отложены высоты въ 1, 2, 3, . . . . 10 саж., взятыя по масштабу болѣе круп-

ному, чѣмъ масштабъ линіи  $AB$ , напр. разъ въ 12, потому что эти высоты вообще малы сравнительно съ разстояніями на мѣстности и были бы едва замѣтны, если нанести ихъ въ масштабъ разстояній. Черезъ точки отложеній проводятъ параллели съ линіею  $AB$ . На крайнемъ правомъ перпендикулярѣ откладываютъ въ масштабъ высотъ величины  $D \operatorname{tg} \alpha$ , вычисленныя при  $D = 200$  и  $\alpha$  равномъ послѣдовательно  $1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, \dots, 10^\circ$  или же откладываютъ соотвѣтственные числа, взятые изъ таблицы высотъ. Затѣмъ каждый промежутокъ отъ  $0^\circ$  до  $1^\circ$ , отъ  $1^\circ$  до  $2^\circ$  и далѣе дѣлятъ на шесть равныхъ частей. Полученныя такимъ образомъ точки соединяютъ съ  $A$ . Если наконецъ добавить, что верхъ построения срѣзается, какъ часть совсѣмъ не употребляющаяся, то масштабъ готовъ. Вычисленіе  $D \operatorname{tg} \alpha$  по этому масштабу дѣлается такъ:

Черт. 424.



пусть дано  $D = 137$  саж. и  $\alpha = + 0^\circ 54'$ . На линіи  $AB$  возьмемъ точку  $m$ , соотвѣтствующую 137 саж., и, вообразивъ параллель съ перпендикулярами къ  $AB$ , беремъ на ней такую точку  $n$ , которая лежитъ на 0,4 всего разстоянія между наклонными линіями  $0^\circ 50'$  и  $1^\circ 0'$ ; линія  $mn$  будетъ соотвѣтствовать  $0^\circ 54'$ . Замѣтивъ, что точка  $n$  лежитъ, по оцѣнкѣ на-глазъ, на 0,3 отъ параллели, отстоящей отъ  $AB$  на 2 саж., можемъ сказать, что относительная высота пикета и станціи при разстояніи его отъ послѣдней въ 137 саж. и при углѣ наклоненія  $+ 0^\circ 54'$  есть  $+ 2,3$  саж.

Иногда части линіи  $AB$  отъ 0 до 100, отъ 100 до 200 саж. и далѣе дѣлаются равными дюйму, принимая его за 100 саж. Тогда опредѣленіе относительной высоты пикета, отстоящаго отъ станціи не далѣе 200 саж., будетъ, вслѣдствіе близости между собою наклонныхъ, очень не точно; для устраненія этого опредѣляютъ  $D \operatorname{tg} \alpha$  при разстояніи, увеличенномъ противъ даннаго въ 2, въ 4 или въ 10 разъ, и во столько же разъ уменьшаютъ окончательный результатъ.

Наконецъ перейдемъ къ *вычислительной или, иначе, логарифмической линейкѣ Вилда\**), которая тоже служитъ для вычисленія произведенія

\*) Швейцарскій профессоръ.

*Dtga* безъ помощи логарифмовъ, и по точности даваемыхъ ею результатовъ, не только превосходитъ масштабъ высотъ, но и мало уступаетъ даже таблицѣ высотъ; кромѣ того, вслѣдствіе небольшихъ своихъ размѣровъ, она весьма портативна и удобна для употребленія ея на мѣстности при производствѣ самой съемки. Линейка Вильда, дѣлающаяся обыкновенно изъ мѣди или аржантина, имѣетъ длину 9—10 дюймовъ, а ширину нѣсколько менѣе одного дюйма. Она состоитъ изъ трехъ частей: собственно линейки *AB* (черт. 425), кулисы *CD*, двигающейся въ пазахъ линейки, и рамы *k* съ зубчикомъ *s*. На верхней и нижней частяхъ линейки, на кулисѣ и на верхней части рамы нанесены штрихи. Прежде объясненія значенія ихъ приведемъ формулы, по которымъ можно опредѣлить: во 1) относительную высоту двухъ точекъ по данному отсчету на дальномѣрной рейкѣ, выставленной въ одной изъ нихъ, и данному углу наклоненія и во 2) длину горизонтальнаго проложенія линіи мѣстности по тѣмъ же даннымъ. Въ статьѣ о дальномѣрахъ (§ 118, формула (1)) видно было, что горизонтальное проложеніе разстоянія равно отсчету *a* на рейкѣ, умноженному на  $\cos^2\alpha$ , гдѣ  $\alpha$  есть уголъ наклоненія оптической оси трубы; такъ что, обозначивъ это горизонтальное разстояніе чрезъ *D*, имѣемъ

$$D = a \cos^2\alpha.$$

Подставляя это въ

$$u = Dtga,$$

получимъ

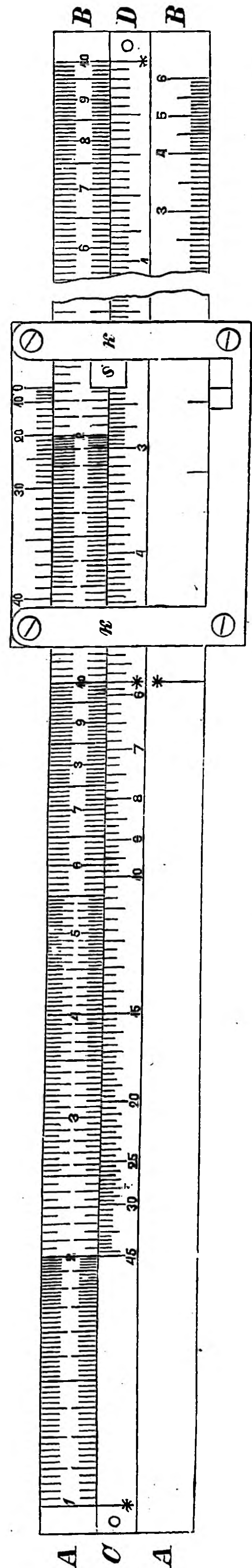
$$u = a \cos^2\alpha tga = \frac{1}{2} a \sin 2\alpha.$$

Слѣдов. формулы для рѣшенія двухъ предыдущихъ задачъ суть:

$$u = \frac{1}{2} a \sin 2\alpha \text{ и } D = a \cos^2\alpha.$$

Объяснимъ теперь построеніе на линейкѣ логарифмической шкалы Гунтера \*), нанесенной на верхней ея части и служащей предшественницею вычислительной линейки. Если линію *AB* (черт. 426) произвольной длины, принятую за единицу, раздѣлимъ послѣдовательно на 10, 100, 1000 и т. д.

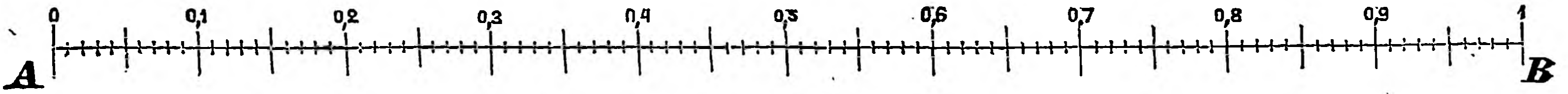
\*) Логарифмическая шкала была предложена въ 1620 году бывшимъ профессоромъ астрономіи оксфордскаго университета Эдмундъ Гунтеромъ вскорѣ послѣ открытія логарифмовъ (въ 1614 г.) шотландскимъ геометромъ барономъ Джономъ Неперомъ. Въ 1675 г. англичанинъ Партриджъ (Partridge) сообщилъ вычислительной линейкѣ тотъ видъ, который сохранился и до настоящаго времени. Линейка эта приспособлена къ рѣшенію различныхъ вопросовъ: научныхъ, строительныхъ, торговыхъ, биржевыхъ и т. д., но для нашихъ цѣлей особенно важно приспособленіе цюрихскаго профессора Вильда.



Черт. 425.

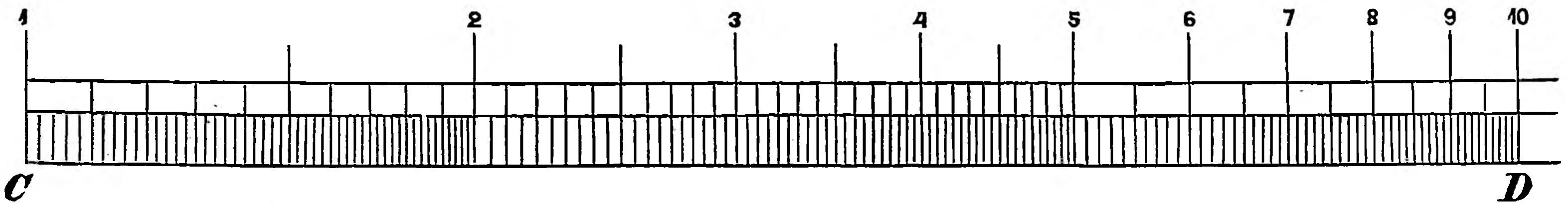
частей, то, рассматривая ее за масштабъ, можно на другой линіи  $CD$  (черт. 427) отложить отъ точки  $C$ , въ доляхъ линіи  $AB$ , логариемы чиселъ: 1, 2, 3, . . . . 10. Разумѣется точность этого нанесенія обусловливается, между прочимъ, и длиною линіи  $AB$  — чѣмъ она больше, тѣмъ большее число знаковъ логариема можно нанести на  $CD$ . Нанеся логариемы чиселъ, подпишемъ соответственные штрихи тѣми цифрами, логариемы которыхъ отложены. Такъ поставимъ 1 въ точкѣ  $C$ , ибо  $\log 1 = 0$ ;

Черт. 426.



поставимъ 2 у штриха, находящагося отъ  $C$  на разстояніи равномъ  $0.3010 AB$ , ибо  $\log 2 = 0.3010$ ; поставимъ 3 у штриха, находящагося отъ  $C$  на разстояніи  $0.4771 AB$ , ибо  $\log 3 = 0.4771$  и т. д.; наконецъ поставимъ 10 у штриха, находящагося отъ  $C$  на разстояніи равномъ  $AB$ ,

Черт. 427.



ибо  $\log 10 = 1$ . Въ промежуткахъ между штрихами: 1, 2, 3, . . . . 10 нанесемъ болѣе мелкія подраздѣленія, соответствующія логариемамъ дробныхъ чиселъ, заключающихся между 1 и 2, 2 и 3 и т. д.; и такъ какъ промежутки эти уменьшаются по мѣрѣ удаленія отъ начальной точки отложенія логариемовъ, то число штриховъ, помѣщающихся въ нихъ, будетъ все меньше и меньше. На черт. 427 нанесены между штрихами

1 и 2	логариемы чиселъ:	1,02; 1,04; 1,06; . . . . 1,98,
2 и 5	»	2,05; 2,10; 2,15; . . . . 3,00; 3,05; . . . . 4,00; 4,05; . . . . ; 4,95,
5 и 10	»	5,1; 5,2; 5,3; . . . . 6,0; 6,1; . . . . 7,0; 7,1; . . . . ; 8,0; 8,1 . . . . ; 9,9.

Такое построеніе, называемое логариемическою шкалою Гунтера, сдѣлано на верхней части линейки Вильда (черт. 425); при чемъ шкала эта нанесена два раза, непосредственно одна за другою. Такъ какъ характеристики логариемовъ чиселъ, большихъ или меньшихъ другъ друга въ 10 разъ, отличаются на единицу, то разстояніе каждаго штриха этой второй шкалы отъ начальной точки представляетъ логариемъ числа, разрядъ котораго въ 10 разъ больше; такъ что, если цифры первой шкалы принимаются за 0,1; 0,2; 0,3; . . . . 0,9; 1,0, то тѣ же цифры второй шкалы нужно принимать за 1, 2, 3, . . . . 9,10, — если цифры первой шкалы принимаются за единицы, то цифры второй шкалы нужно принимать за десятки. Штрихи этой второй шкалы подписываются тѣми же цифрами, что и на первой шкалѣ.

Несмотря на неодинаковость числа штриховъ, помѣщенныхъ въ промежуткахъ между 1 и 2, 2 и 3, . . . . 9 и 10, высшіе предѣлы относительныхъ ошибокъ логариемовъ чиселъ, отложенныхъ на  $AB$ , колеблются между однѣми и тѣми же величинами. Дѣйствительно, такъ какъ дѣленія шкалы настолько еще крупны, что можно оцѣнивать на-глазъ  $\frac{1}{4}$  ихъ

доли, то высшій предѣлъ относительной ошибки для дѣлений, заключающихся между 1 и 2, лежитъ между 0,005 и 0,0025, ибо  $\frac{0,02}{1 \times 4} = 0,005$ , а  $\frac{0,02}{2 \times 4} = 0,0025$ ; точно также высшій предѣлъ относительной ошибки для дѣлений, заключающихся между 2 и 5, лежитъ между 0,006 и 0,0025, для дѣлений между 5 и 10 лежитъ между 0,005 и 0,0025. Слѣдов. высшій предѣлъ относительной ошибки по всему протяженію шкалы колеблется между  $\frac{1}{200}$  и  $\frac{1}{400}$ , а въ среднемъ онъ не превышаетъ  $\frac{1}{300}$ .

По тому же масштабу, по которому нанесены на линейкѣ шкалы Гунтера, наносятъ на кулисъ  $CD$  логарифмы выраженія  $\frac{1}{2} \sin 2\alpha$ , вычисленные для всѣхъ значений  $\alpha$  отъ  $0^{\circ}35'$  до  $45^{\circ}$ . Если для примѣра вычислимъ  $\frac{1}{2} \sin 2\alpha$  между этими предѣлами при измѣненіи  $\alpha$  отъ  $5^{\circ}$  до  $5^{\circ}$  и представимъ соотвѣтственные числа въ видѣ такихъ дробей, у которыхъ числители суть единицы, а знаменатели выражены до сотыхъ долей, то будемъ имѣть:

$$\begin{aligned} \text{при } \alpha = 45^{\circ}, \frac{1}{2} \sin 2\alpha &= \frac{1}{2}, \log \frac{1}{2} \sin 2\alpha = -\log 2, \\ \text{» } \alpha = 40^{\circ}, \frac{1}{2} \sin 2\alpha &= \frac{1}{2,03}, \log \frac{1}{2} \sin 2\alpha = -\log 2,03, \\ \text{» } \alpha = 35^{\circ}, \frac{1}{2} \sin 2\alpha &= \frac{1}{2,13}, \log \frac{1}{2} \sin 2\alpha = -\log 2,13, \\ \text{» } \alpha = 30^{\circ}, \frac{1}{2} \sin 2\alpha &= \frac{1}{2,31}, \log \frac{1}{2} \sin 2\alpha = -\log 2,31, \\ \text{» } \alpha = 25^{\circ}, \frac{1}{2} \sin 2\alpha &= \frac{1}{2,61}, \log \frac{1}{2} \sin 2\alpha = -\log 2,61, \\ \text{» } \alpha = 20^{\circ}, \frac{1}{2} \sin 2\alpha &= \frac{1}{3,11}, \log \frac{1}{2} \sin 2\alpha = -\log 3,11, \\ \text{» } \alpha = 15^{\circ}, \frac{1}{2} \sin 2\alpha &= \frac{1}{4}, \log \frac{1}{2} \sin 2\alpha = -\log 4,00 \\ \text{» } \alpha = 10^{\circ}, \frac{1}{2} \sin 2\alpha &= \frac{1}{5,85}, \log \frac{1}{2} \sin 2\alpha = -\log 5,85, \\ \text{» } \alpha = 5^{\circ}, \frac{1}{2} \sin 2\alpha &= \frac{1}{11,52}, \log \frac{1}{2} \sin 2\alpha = -\log 11,52, \\ \text{» } \alpha = 1^{\circ}, \frac{1}{2} \sin 2\alpha &= \frac{1}{57,47}, \log \frac{1}{2} \sin 2\alpha = -\log 57,47, \\ \text{» } \alpha = 0^{\circ}35', \frac{1}{2} \sin 2\alpha &= \frac{1}{98,04}, \log \frac{1}{2} \sin 2\alpha = -\log 98,04. \end{aligned}$$

На этомъ основаніи самое нанесеніе штриховъ на кулисъ производится такъ: вблизи конца  $C$  кулисы назначаютъ штрихъ, который будетъ служить *указателемъ* и вмѣстѣ съ тѣмъ начальнымъ штрихомъ для нанесенія числовыхъ величинъ выраженія  $\log \frac{1}{2} \sin 2\alpha$ . Этотъ штрихъ въ отличіе отъ другихъ сопровождается звѣздочкою. Передвигаютъ кулису въ пазахъ линейки до тѣхъ поръ, пока указатель будетъ продолженіемъ крайняго лѣваго штриха линейки, подписаннаго цифрою 1. Затѣмъ, такъ какъ  $\log \frac{1}{2} \sin (2 \times 45^{\circ}) = -\log 2$ , то на кулисъ подъ штрихомъ линейки, подписаннымъ цифрою 2, проводятъ штрихъ и подписываютъ его  $45^{\circ}$ . Точно также назначаютъ штрихи, соотвѣтствующіе  $40^{\circ}, 35^{\circ}, 30^{\circ}, \dots, 0^{\circ}35'$ , при которыхъ выраженіе  $\log \frac{1}{2} \sin 2\alpha$  будетъ равно соотвѣтственно:  $-\log 2,03$ ;  $-\log 2,13$ ;  $-\log 2,31$ ;  $\dots$   $-\log 98,04$ . Такимъ образомъ на кулисъ



будутъ нанесены штрихи, соответствующіе измѣненію  $\alpha$  чрезъ каждые 5 градусовъ отъ  $45^\circ$  до  $0^\circ 35'$ . Подобнымъ же путемъ могутъ быть нанесены и промежуточные штрихи, соответствующіе отдѣльнымъ градусамъ и минутамъ; при чемъ, такъ какъ промежутки между отдѣльными градусами уменьшаются, какъ это видно изъ чертежа, по мѣрѣ увеличенія  $\alpha$ , то, во избѣжаніе значительной мелкости дѣленій, не во всѣхъ промежуткахъ наносятся штрихи, соответствующіе отдѣльнымъ минутамъ; такъ что

въ промежуткѣ между $0^\circ 35'$ и $1^\circ$	нанесены штрихи, соответств.	$1'$
» » » $1^\circ$ » $3^\circ$	» » »	$2'$
» » » $3^\circ$ » $5^\circ$	» » »	$5'$
» » » $5^\circ$ » $10^\circ$	» » »	$10'$
» » » $10^\circ$ » $20^\circ$	» » »	$20'$
» » » $20^\circ$ » $30^\circ$	» » »	$30'$ ;

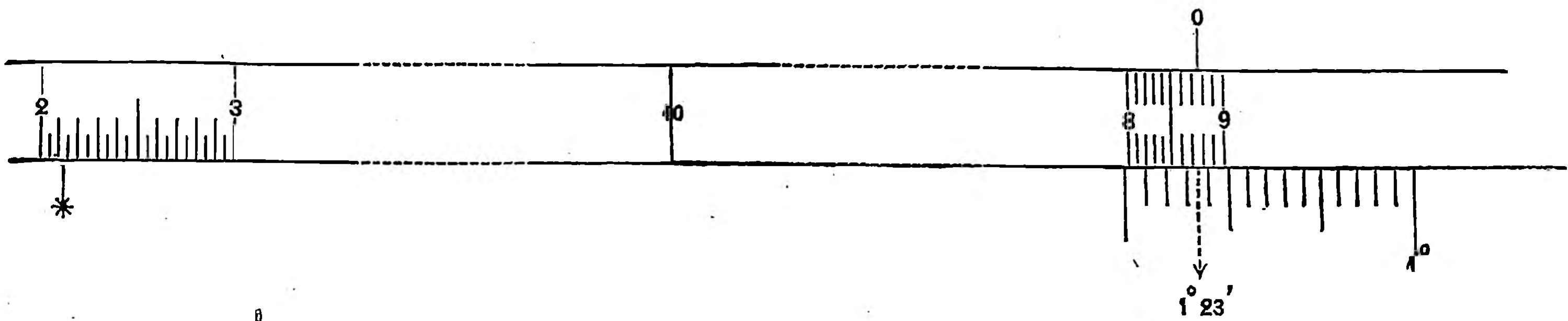
наконецъ въ промежуткѣ между  $30^\circ$  и  $40^\circ$  нанесены только градусные штрихи, а между  $40^\circ$  и  $45^\circ$  совсѣмъ нѣтъ штриховъ. На кулисѣ, кромѣ начального штриха со звѣздочкою, нанесены еще два подобные же *указателя* въ разстояніи  $\log 10$  и  $\log 100$  отъ начального указателя. При всякомъ положеніи кулисы, отсчетъ по среднему указателю въ 10 разъ больше отсчета по начальному, а отсчетъ по крайнему правому въ 10 разъ болѣе отсчета по среднему и въ 100 разъ болѣе отсчета по начальному, ибо, какъ уже сказано, подписи правой шкалы Гунтера выражаютъ разрядъ въ 10 разъ болѣе разряда подписей лѣвой шкалы.

При вычисленіи формулы  $u = \frac{1}{2} a \sin 2\alpha$  имѣемъ  $\log u = \log a + \log \frac{1}{2} \sin 2\alpha$ . Такъ какъ второй членъ второй части, по сказанному въ предыдущемъ, отрицателенъ, то вторая часть представляетъ разность и показываетъ, что для полученія  $\log u$  надо изъ  $\log a$  вычесть  $\log \frac{1}{2} \sin 2\alpha$ ; а это дѣлается такъ: найдя на линейкѣ штрихъ, соответствующій  $\log a$ , приводятъ въ совпаденіе съ нимъ штрихъ кулисы, соответствующій  $\log \frac{1}{2} \sin 2\alpha$ , тогда указатель долженъ дать  $\log u$ , а числовое значеніе штриха, на которомъ остановился этотъ указатель, опредѣлитъ самое  $u$ . При этомъ употребленіи линейки пользуются рамою  $k$ , на которой по продолженію заостреннаго края зубчика  $s$  сдѣланъ штрихъ, подписанный нулемъ; самое пользованіе состоитъ въ слѣдующемъ: передвинувъ раму настолько, чтобы нуль ея стоялъ надъ штрихомъ  $a$  линейки, двигаютъ кулису въ пазахъ, пока подъ заостренный край зубчика подойдетъ  $\alpha$  градусовъ кулисы; послѣ чего отсчетъ по лѣвому указателю выразитъ искомое  $u$ . Если лѣвый указатель выйдетъ въ поле, то отсчетъ дѣлается по среднему или правому указателю; въ первомъ случаѣ его нужно уменьшить въ 10 разъ, а во второмъ — въ 100 разъ. Такъ какъ на кулисѣ имѣются штрихи, соответствующіе углу  $\alpha$ , заключающемуся между  $0^\circ 35'$  и  $45^\circ$ , то для вычисленія той же формулы  $u = \frac{1}{2} a \sin \alpha$  при  $\alpha < 0^\circ 35'$  принимаютъ, что синусы малыхъ дугъ пропорціональны соответственнымъ дугамъ и увеличиваютъ  $\alpha$  въ 2, въ 4, въ 10 или въ крайнемъ случаѣ въ 20 и даже 40 разъ; затѣмъ, получивъ по линейкѣ соответственное  $u$ , уменьшаютъ его во столько же разъ и получаютъ искомый результатъ.

Сдѣлаемъ нѣсколько примѣровъ: 1) дано:  $a = 87,5$  и  $\alpha = +1^\circ 23'$ . Поставивъ нуль рамы на 87,5 на правой шкалѣ линейки (черт. 428), передвигаютъ кулису на столько, чтобы подъ край зубчика подошелъ  $1^\circ 23'$ ; затѣмъ дѣлаютъ отсчетъ по лѣвому указателю, который въ настоящемъ случаѣ стоитъ на лѣвой шкалѣ и даетъ  $u = 2,11$ ; слѣдов. результатъ будетъ  $u = +2,11$ . 2) Дано:  $a = 43,4$  и  $\alpha = +0^\circ 16'$ . Такъ какъ на кулисѣ нѣтъ штриховъ, соответствующихъ угламъ  $\alpha$  меньшимъ  $0^\circ 35'$ , то увеличиваютъ данный уголъ въ 10 разъ и получаютъ  $160'$  или  $2^\circ 40'$ . Поста-

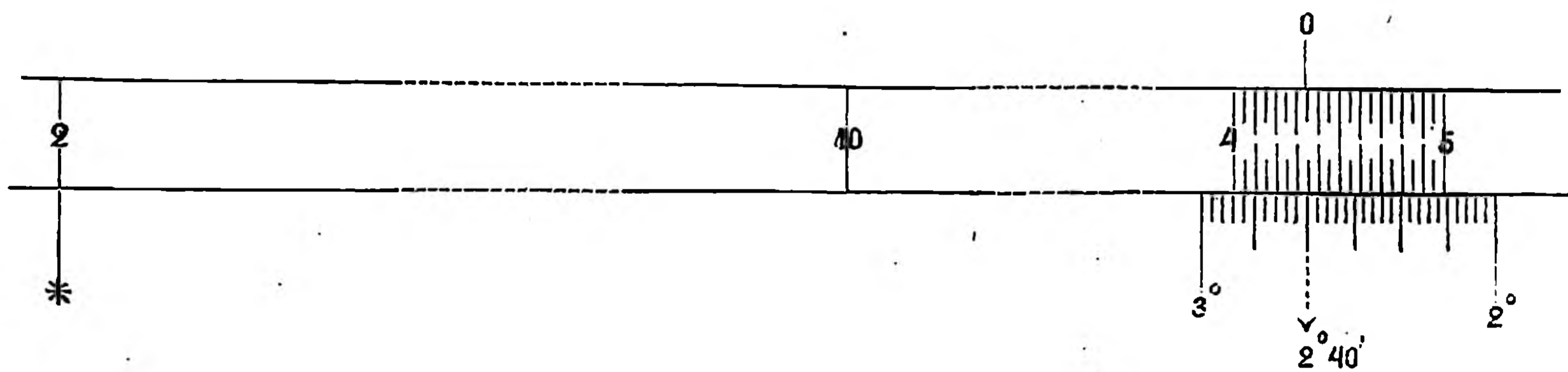
вивъ затѣмъ  $O$  рамы на 43,4 на второй шкалѣ (черт. 429) и передвинувъ кулису настолько, чтобы край зубчика стоялъ на  $2^{\circ}40'$ , дѣлають

Черт. 428.



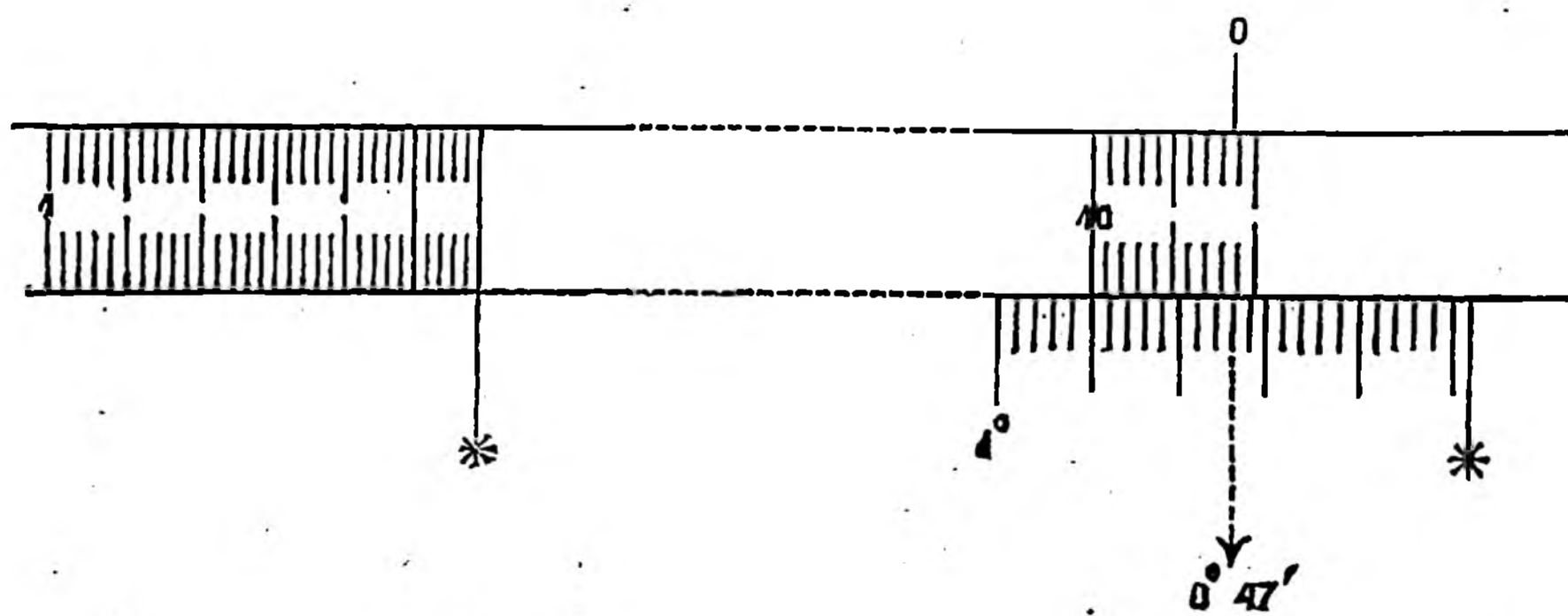
по лѣвому указателю отсчетъ 2,00, который уменьшаютъ въ 10 разъ и получаютъ  $+0,20$ . 3) Дано:  $a = 117,5$  и  $\alpha = -0^{\circ}47'$ . Если установить

Черт. 429.



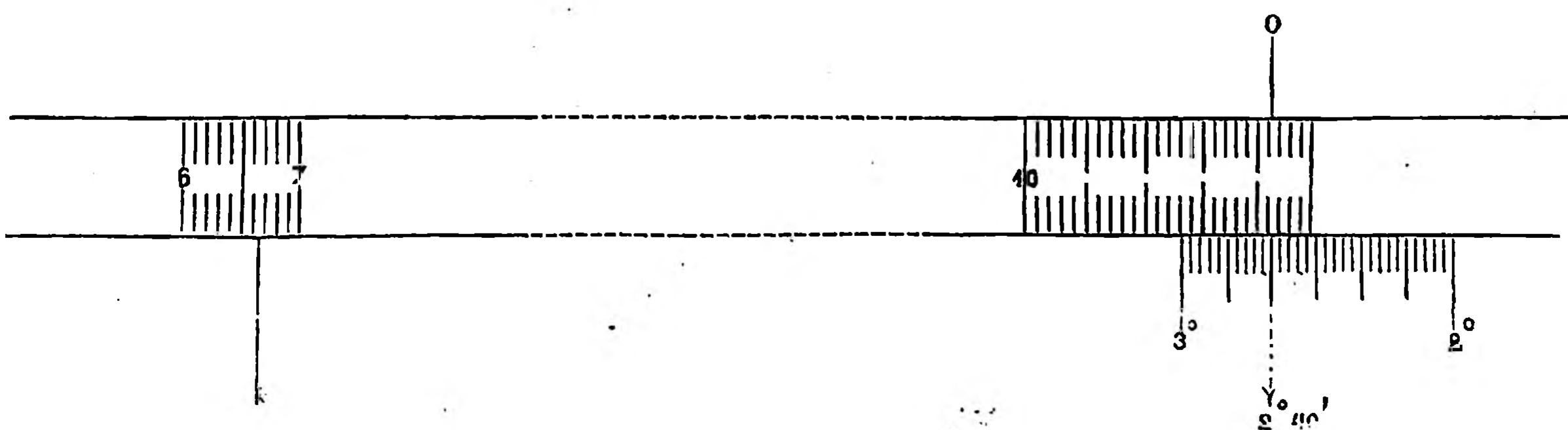
раму и кулису такъ, какъ прежде, то увидимъ, что лѣвый указатель вышелъ въ поле, и потому дѣлають отсчетъ 16,0 (черт. 430) по сред-

Черт. 430.



нему. А такъ какъ онъ увеличиваетъ въ 10 разъ, то результатъ будетъ  $u = -1,60$ . 4) Дано:  $a = 143,2$  и  $\alpha = +0^{\circ}16'$ . Увеличивъ данный уголъ въ 10 разъ и установивъ раму и кулису, дѣлають по среднему указателю отсчетъ 66,3 (черт. 431). Такъ какъ данный уголъ былъ увеличенъ

Черт. 431.



въ 10 разъ и отсчетъ сдѣланъ не по лѣвому указателю, а по среднему, то 66,3 должно уменьшить въ 100 разъ; такъ что результатъ будетъ  $u = +0,66$ .

Для вычисленія посредствомъ линейки Вильда формулы  $D = a \cos^2 \alpha$ ,

въ которой  $a$  и  $\alpha$  имѣютъ прежнія значенія, служатъ штрихи, нанесенные на верхней планкѣ рамы  $k$  (черт. 425). Передъ нанесеніемъ ихъ вычисляютъ  $\cos^2\alpha$  при измѣненіи  $\alpha$  отъ  $0^\circ$  до  $40^\circ$ ; такъ напр., при  $\alpha = 0^\circ, 10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 40^\circ$  имѣемъ:

$\log \cos 0^\circ = 0.0000$	$\log \cos^2 0^\circ = 0.0000$	$\cos^2 0^\circ = 1,0000$
$\log \cos 10^\circ = 9.9933$	$\log \cos^2 10^\circ = 9.9866$	$\cos^2 10^\circ = 0,9696$
$\log \cos 20^\circ = 9.9730$	$\log \cos^2 20^\circ = 9.9460$	$\cos^2 20^\circ = 0,8831$
$\log \cos 30^\circ = 9.9375$	$\log \cos^2 30^\circ = 9.8750$	$\cos^2 30^\circ = 0,7499$
$\log \cos 40^\circ = 9.8842$	$\log \cos^2 40^\circ = 9.7684$	$\cos^2 40^\circ = 0,5867.$

Выражая  $\cos^2\alpha$  въ видѣ такихъ дробей, числителемъ которыхъ была бы единица, а знаменателемъ — число точное до сотыхъ долей, получимъ

$$\cos^2 0^\circ = 1. \quad \text{А потому } \log \cos^2 0^\circ = \log 1,00$$

$$\cos^2 10^\circ = \frac{1}{1,03}, \quad \log \cos^2 10^\circ = -\log 1,03$$

$$\cos^2 20^\circ = \frac{1}{1,13}, \quad \log \cos^2 20^\circ = -\log 1,13$$

$$\cos^2 30^\circ = \frac{1}{1,33}, \quad \log \cos^2 30^\circ = -\log 1,33$$

$$\cos^2 40^\circ = \frac{1}{1,70}, \quad \log \cos^2 40^\circ = -\log 1,70.$$

Если штрихъ на верхней планкѣ рамы, подписанный нулемъ и назначенный по продолженію края зубчика, принять за начальный при нанесеніи предыдущихъ числовыхъ значеній для  $\log \cos^2\alpha$ , то штрихи, соотвѣтствующие  $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ$  и  $40^\circ$ , наносятся влѣво отъ него, т. е. обратно расположенію подписи штриховъ на шкалѣ Гунтера, ибо

$$\log D = \log a + \log \cos^2\alpha,$$

гдѣ послѣдній членъ отрицателенъ, а потому  $\log a$  долженъ быть уменьшенъ на  $\log \cos^2\alpha$ . Для нанесенія штриха  $10^\circ$  передвинемъ раму настолько, чтобы нулевой штрихъ ея стоялъ на томъ мѣстѣ линейки, которое соотвѣтствуетъ 1,03; послѣ чего по продолженію штриха 10 линейки проводятъ на рамѣ штрихъ и подписываютъ его  $10^\circ$ . Для назначенія штриха  $20^\circ$  передвигаютъ раму настолько, чтобы нулевой ея штрихъ стоялъ на 1,13 линейки и по продолженію штриха 10 линейки проводятъ на рамѣ штрихъ, при которомъ подписываютъ  $20^\circ$ , и т. д. Такъ какъ промежутокъ между  $0^\circ$  и  $10^\circ$  малъ и такъ какъ, съ другой стороны, поправка наклонной линіи для приведенія ея къ горизонту незначительна до угловъ наклоненія въ  $4^\circ$ , какъ это видно изъ таблицы IV, то въ этомъ промежуткѣ наносятъ только штрихи для  $4^\circ, 6^\circ$  и  $8^\circ$ . Въ промежуткѣ между  $10^\circ$  и  $20^\circ$  наносятъ штрихи, соотвѣтствующие каждымъ  $2^\circ$ , а въ промежуткѣ между  $20^\circ$  и  $40^\circ$  — отдѣльнымъ градусамъ. По построенной такимъ образомъ шкалѣ вычисленіе производится такъ: поставивъ нуль рамы на мѣсто линейки, соотвѣтствующее данному  $a$ , отсчитываютъ на ней противъ того мѣста рамы, которое соотвѣтствуетъ данному  $\alpha$ ; напр., если  $a = 243,0$  и  $\alpha = 27^\circ 23'$ , то, поставивъ нуль рамы на 243,0 линейки, отсчитываютъ на этой послѣдней противъ  $27^\circ 23'$  число 192. Это и есть искомое  $D$ .

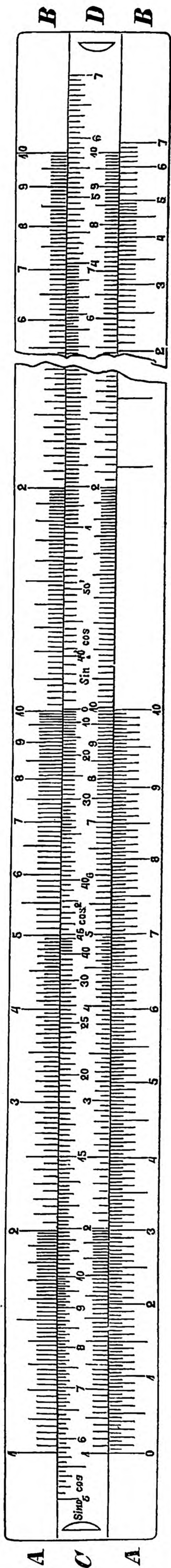
Въ заключеніе надо сказать, что штрихи на нижней части линейки служатъ для полученія поправки  $f$  отъ кривизны земли и рефракціи; при чемъ она выражается формулою

$$f = 0,0000000659 D^2,$$

гдѣ  $D$  есть данное разстояніе отъ инструмента, которое должно быть выражено въ метрахъ, ибо для вычисленія коэффициента 0,000000659 радиусъ земли принятъ равнымъ 6370000 метрамъ, а коэффициентъ рефракціи — равнымъ 0,0663 (по Гауссу). Для получения числоваго значенія предыдущаго  $f$  обращаютъ данное число сажень въ разстояніи въ метры и, поставивъ нуль шкалы  $\cos^2\alpha$  на это число метровъ на правой шкалѣ линейки отсчитываютъ внизу по показателю нижней планки рамы поправку  $f$  тоже въ метрахъ; при этомъ надо имѣть въ виду, что числа шкалы линейки выражаютъ тысячи метровъ, что при уменьшеніи ихъ въ 10 разъ, поправка уменьшится во 100 разъ и что для этого вычисленія достаточно принимать метръ равнымъ полусажени. Напр. если данное разстояніе есть 1500 саж. или 3000 метровъ, то поправка будетъ 0,6 метра или 0,3 сажени; для разстоянія же 250 саж. = 500 метр. непосредственный отсчетъ будетъ 0,02 м. = 0,01 с.

Линейка Вильда, описанная въ предыдущемъ, въ послѣднее время нѣсколько измѣнена (черт. 432). Это измѣненіе состоитъ, главнымъ образомъ, въ совершенномъ устраненіи рамы и нанесеніи шкалы  $\cos^2\alpha$  на кулису; при чемъ, если нуль ея помѣстить на срединѣ кулисы и совмѣстить его со штрихомъ 2 линейки на правой шкалѣ Гунтера, то штрихъ  $\cos^2 45^\circ$  долженъ совпадать со штрихомъ 10 по срединѣ линейки, ибо  $\cos^2 45^\circ = \frac{1}{2}$ , а потому  $\log \cos^2 45^\circ = -\log 2$ . Шкала  $\frac{1}{2} \sin 2\alpha = \sin \alpha \cdot \cos \alpha$  начинается на кулисѣ отъ того же нуля, располагается слѣво направо отъ  $0^\circ 35'$  до  $7^\circ$  и продолжается съ лѣваго конца кулисы отъ  $5^\circ$  до  $45^\circ$ . Этотъ штрихъ  $45^\circ$  совмѣщается со штрихомъ  $45^\circ$  шкалы  $\cos^2\alpha$ , потому что  $\sin 45^\circ \cdot \cos 45^\circ = \cos^2 45^\circ$ . Вслѣдствіе размѣщенія дѣлений шкалы  $\frac{1}{2} \sin 2\alpha$  въ направленіи противоположномъ съ направленіемъ той же шкалы на линейкѣ прежняго устройства, при употребленіи новой линейки устанавливается на данное  $a$  не штрихъ шкалы  $\frac{1}{2} \sin 2\alpha$ , соотвѣтствующій данному  $\alpha$ , и отсчетъ дѣлается не при нулѣ кулисы, какъ прежде, а наоборотъ на  $a$  устанавливается нуль кулисы и отсчетъ дѣлается по штриху ея, соотвѣтствующему данному  $\alpha$ ; кромѣ того  $D$  отсчитывается противъ того же числа  $\alpha$  градусовъ шкалы  $\cos^2\alpha$ . Это размѣщеніе дѣлений на кулисѣ линейки Вильда новаго устройства имѣетъ весьма важное преимущество передъ прежнею, ибо она даетъ оба неизвѣстные  $u$  и  $D$  тѣхъ же формулъ однимъ только передвиженіемъ кулисы и рамы, а не передвиженіемъ кулисы и рамы, какъ прежде. Напр. при  $a = 174,0$  и  $\alpha = +20^\circ 0'$  по шкалѣ  $\cos^2\alpha$  при  $20^\circ$  имѣемъ  $D = 153,5$ , а по шкалѣ  $\sin \alpha \cdot \cos \alpha$  при  $20^\circ$  имѣемъ  $u = +55,9$ . При вычисленіи  $u$ , кромѣ извѣстнаго уже правила, что разрядъ цифръ второй шкалы Гунтера въ 10 разъ болѣе разряда тѣхъ же цифръ первой шкалы, надо еще принять во вниманіе

Черт. 432.



то, что если отсчетъ на шкалѣ Гунтера дѣлается надъ такимъ мѣстомъ шкалы  $\frac{1}{2} \sin 2\alpha$ , которое лежитъ вправо отъ нуля, то этотъ отсчетъ слѣдуетъ уменьшить во 100 разъ. Причина этого та, что слѣдовало бы нанести на кулису *всю* шкалу  $\frac{1}{2} \sin 2\alpha$  *влѣво* отъ 0, а такъ какъ на самомъ дѣлѣ часть ея отъ  $0^{\circ}35'$  до  $7^{\circ}$  нанесена *вправо* отъ 0, то тѣмъ самымъ отсчетъ надъ этою частью увеличенъ во 100 разъ, ибо онъ дѣлается по такой шкалѣ Гунтера, разрядъ цифръ которой въ разъ болѣе разряда цифръ той шкалы, по которой слѣдовало бы сдѣлать отсчетъ; напр. при  $a = 67,8$  и  $\alpha = +0^{\circ}37'$  имѣемъ  $u = +0,73$ . На нижней части линейки, слѣва ея, нанесенъ дециметръ, раздѣленный на сантиметры и полумиллиметры. Этотъ масштабъ служитъ, главнымъ образомъ, для опредѣленія логарифмовъ чиселъ. Такъ, совмѣстивъ лѣвую единицу шкалы Гунтера на нижней части кулисы съ нулемъ масштаба, прочтемъ на масштабѣ логарифмъ каждаго числа, взятаго на той же шкалѣ Гунтера; напр.  $\log 0,75 = 9.875$ .

Для упражненія въ вычисленіи по линейкѣ Вильда, предлагаются слѣдующіе примѣры, вычисленные логарифмически:

1)	Дано:	$a = 53,0$ ;	$\alpha = +20^{\circ}47'$ .	Результ.:	$u = +17,58$ ;	$D = 46,83$ ,
2)	»	$a = 87,5$ ;	$\alpha = +1^{\circ}23'$ .	»	$u = +2,11$ ;	$D = 87,45$ ,
3)	»	$a = 117,5$ ;	$\alpha = -0^{\circ}47'$ .	»	$u = -1,61$ ;	$D = 117,5$ ,
4)	»	$a = 15,3$ ;	$\alpha = -0^{\circ}3'$ .	»	$u = -0,01$ ;	$D = 15,3$ ,
5)	»	$a = 43,2$ ;	$\alpha = -0^{\circ}16'$ .	»	$u = -0,20$ ;	$D = 43,2$ ,
6)	»	$a = 143,2$ ;	$\alpha = +0^{\circ}16'$ .	»	$u = +0,67$ ;	$D = 143,2$ ,
7)	»	$a = 143,2$ ;	$\alpha = +15^{\circ}7'$ .	»	$u = +36,05$ ;	$D = 133,46$ ,
8)	»	$a = 378,5$ ;	$\alpha = -5^{\circ}3'$ .	»	$u = -33,19$ ;	$D = 375,57$ ,
9)	»	$a = 15,3$ ;	$\alpha = +7^{\circ}8'$ .	»	$u = +1,89$ ;	$D = 15,06$ ,
10)	»	$a = 68,4$ ;	$\alpha = -0^{\circ}28'$ .	»	$u = -0,56$ ;	$D = 68,40$ ,
11)	»	$a = 243,2$ ;	$\alpha = -27^{\circ}23'$ .	»	$u = -99,32$ ;	$D = 191,75$ ,
12)	»	$a = 34,6$ ;	$\alpha = +15^{\circ}16'$ .	»	$u = +8,79$ ;	$D = 32,20$ .

Линейка Вильда, весьма распространенная въ Швейцаріи, мало у насъ употребляется; тѣмъ не менѣе, вслѣдствіе удобства ея употребленія и точности даваемыхъ результатовъ, можно желать большаго ея у насъ примѣненія, тѣмъ болѣе, что по своей портативности она съ большимъ удобствомъ замѣняетъ таблицу и масштабъ высотъ.

При измѣреніи угловъ наклоненія и вычисленіи альтитудъ станцій и пикетовъ ведется журналъ, въ которомъ дѣлаются и необходимыя вычисленія. Этотъ журналъ составляется такъ: 1) въ первой графѣ пишется названіе станціи, — при чемъ если это сигналъ, то и высота его; здѣсь записывается и высота  $i$  инструмента; 2) во второй графѣ записываются визируемые предметы съ извѣстными альтитудами и пикеты; 3) изъ отсчетовъ по 2 верньерамъ при кругѣ право и кругѣ лѣво берутся полусуммы, которыя и вносятся въ 3-ю графу; 4) въ четвертой и пятой графахъ вычисляется изъ этихъ круговъ  $M.O.$  и уголъ наклоненія; мѣсто нуля опредѣляется по возможности чаще и, во всякомъ случаѣ, не менѣе двухъ разъ въ день; 5) разстоянія до визируемыхъ предметовъ получаютъ по измѣренію на планшетѣ, а до пикетовъ — дальномѣромъ и записываются въ графѣ 6; 6) въ седьмой графѣ записывается разность высотъ для станцій, получаемая или по таблицѣ, или по масштабу высотъ; при чемъ вычисленіе, въ случаѣ полученія разности высотъ по таблицѣ, дѣлается въ 10-й графѣ, 7) въ той же графѣ:

**Журналъ вычисленія альтитудъ.**

*Киргелъ Гл. Шт. № 564.*

Названія		Отсчетъ по вертикальному кругу.	М. О. (или исправ. уголъ).	Уголъ накло- ния.	Разстоянiя.	Разность высотъ.	Альтитуда.		Примѣчанiе.	
станцій.	визирuem. предметовъ и пикетовъ.						въ саж.	въ гор.		
Сигналъ на Перервинскомъ скотопрогонѣ. (Высота сигнала = 2 <sup>с</sup> ,37)	Перерва (церк.)	К. П. 4 <sup>о</sup> 26'	} 1 <sup>о</sup> 1'	+ 3 <sup>о</sup> 25',5	361,5	-21,63	7,84	15,7	Отвѣсное разстоянiе между гориз. = 0 <sup>о</sup> ,5 Альтитуда Перервы (церк.) = 30 <sup>с</sup> ,15. 300 60 1,5 3 <sup>о</sup> 20'.... 17,47 3,49 0,09 5'.... 0,44 0,09 0,00 0',5.... 0,04 0,01 0,00 <u>17,95 3,59 0,09</u> - 21,63 H.... 30,15 8,52 i + f.... - 0,68 <u>7,84</u>	
		К. Л. 357 <sup>о</sup> 35'								
		2 <sup>о</sup> 59'	—	- 1 <sup>о</sup> 58'	41	-1,41	6,43	12,9		
1	2 <sup>о</sup> 59'	—	- 1 <sup>о</sup> 58'	41	-1,41	6,43	12,9			
2	1 <sup>о</sup> 19'	—	- 0 <sup>о</sup> 18'	122	-0,64	7,20	14,4			
Высота инструм. i = 0 <sup>с</sup> ,66	3	1 <sup>о</sup> 13'	—	- 0 <sup>о</sup> 12'	100	-0,35	7,49	15,0		
h = 7 <sup>с</sup> ,84										
Уполотна Курской ж. д. Высота INSTR. i = 0 <sup>с</sup> ,73 h = 4 <sup>с</sup> ,71	Перерва (церк.)	К. Л. 356 <sup>о</sup> 45',5	} 1 <sup>о</sup> 31'	+ 4 <sup>о</sup> 45',5	297,0	-24,72	4,69			200 90 7 4 <sup>о</sup> 40'.... 16,33 7,35 0,57 5'.... 0,29 0,13 0,01 0',5.... 0,03 0,01 0,00 <u>16,65 7,49 0,58</u> - 24,72 H.... 30,15 5,43 i + f.... - 0,74 <u>4,69</u> 100 20 3 2 <sup>о</sup> 10'.... 3,79 0,76 0,11 2'.... 0,06 0,01 0,00 0,5.... 0,02 0,00 0,00 <u>3,87 0,77 0,11</u> - 4,75 7,84 ВЫС. СИГН.... 2,37 <u>10,21</u> - 4,75 5,46 i + f.... - 0,73 <u>4,73</u>
		К. П. 6 <sup>о</sup> 16',5								
	Сигналъ на Перерв. скотопрог.	К. П. 3 <sup>о</sup> 44'	} 1 <sup>о</sup> 31',5	+ 2 <sup>о</sup> 12',5	123,0	- 4,75	4,73			
		К. Л. 359 <sup>о</sup> 19'							ср. 1 <sup>о</sup> 31'	
	4	1 <sup>о</sup> 55'	—	- 0 <sup>о</sup> 24'	45	-0,32	4,39	8,8		
	5	2 <sup>о</sup> 36'	—	- 1 <sup>о</sup> 5'	57	-1,08	3,63	7,3		
	6	359 <sup>о</sup> 45'	—	+ 1 <sup>о</sup> 14'	24	+0,52	5,23	10,5		
7	1 <sup>о</sup> 25'	—	+ 0 <sup>о</sup> 6'	87	+0,15	4,86	9,7			
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	

И т. д.

*Примѣчанiе* вычисляются также и альтитуды станцій; при этомъ принимается во вниманiе высота *i* инструмента и поправка *f* отъ сферическаго вида земли и рефракціи; 8) въ графѣ *Примѣчанiе* записываются

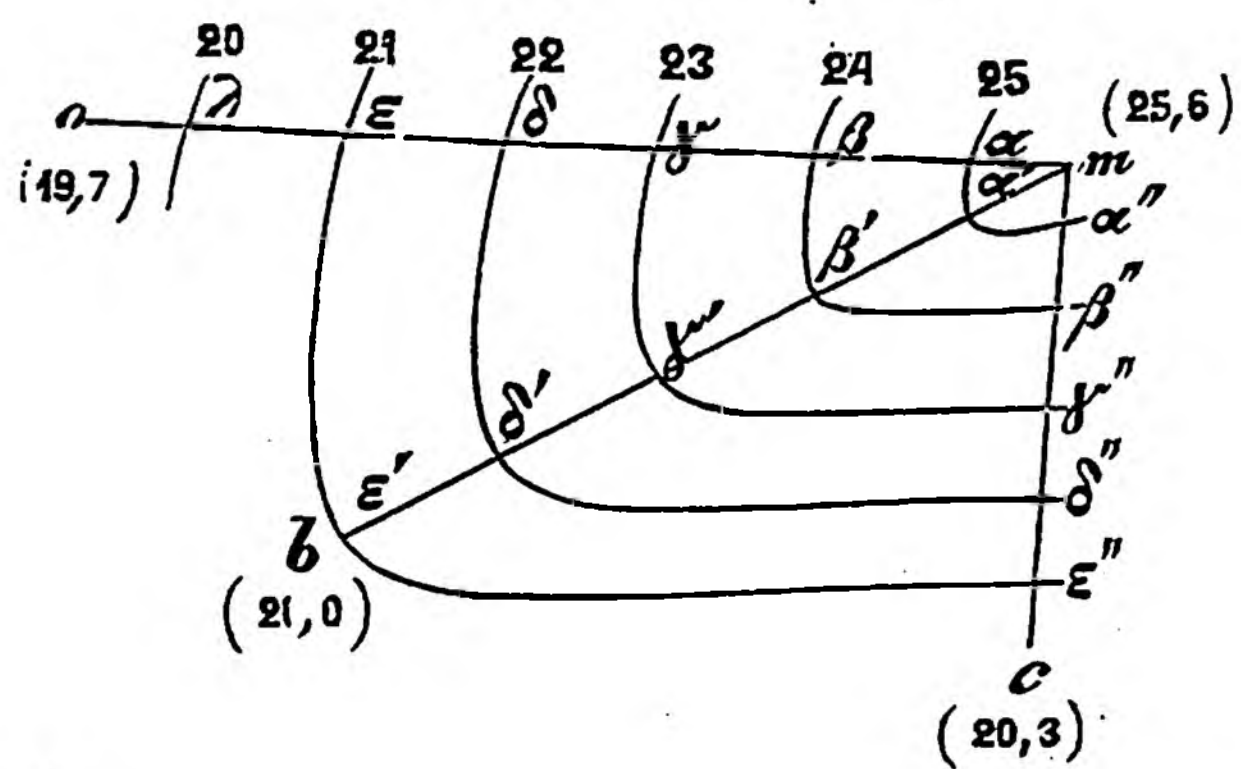
также и альтитуды основныхъ точекъ; 9) для полученія альтитудъ, выраженныхъ въ горизонталяхъ, нужно альтитуду въ саженьяхъ раздѣлить на отвѣсное разстояніе между горизонталями; такъ напр. въ журналѣ раздѣлено на 0,5 саж.; 10) если углы измѣряются кипрегелемъ съ уровнемъ на трубѣ, то въ графѣ *М. О.* нужно записывать исправительный уголъ, а въ первой графѣ — поправку *p* уровня.

§ 177. Когда альтитуды точекъ вычислены, тогда, надписавъ ихъ при самыхъ точкахъ на планѣ, приступаютъ къ проведенію на немъ горизонталей. Пусть изъ точки *m* (черт. 433), бывшей станціею, сдѣланы на планѣ направленія на пикеты *a*, *b* и *c*; при чемъ обнаружено, что альтитуды этихъ точекъ, выраженные въ горизонталяхъ, суть:

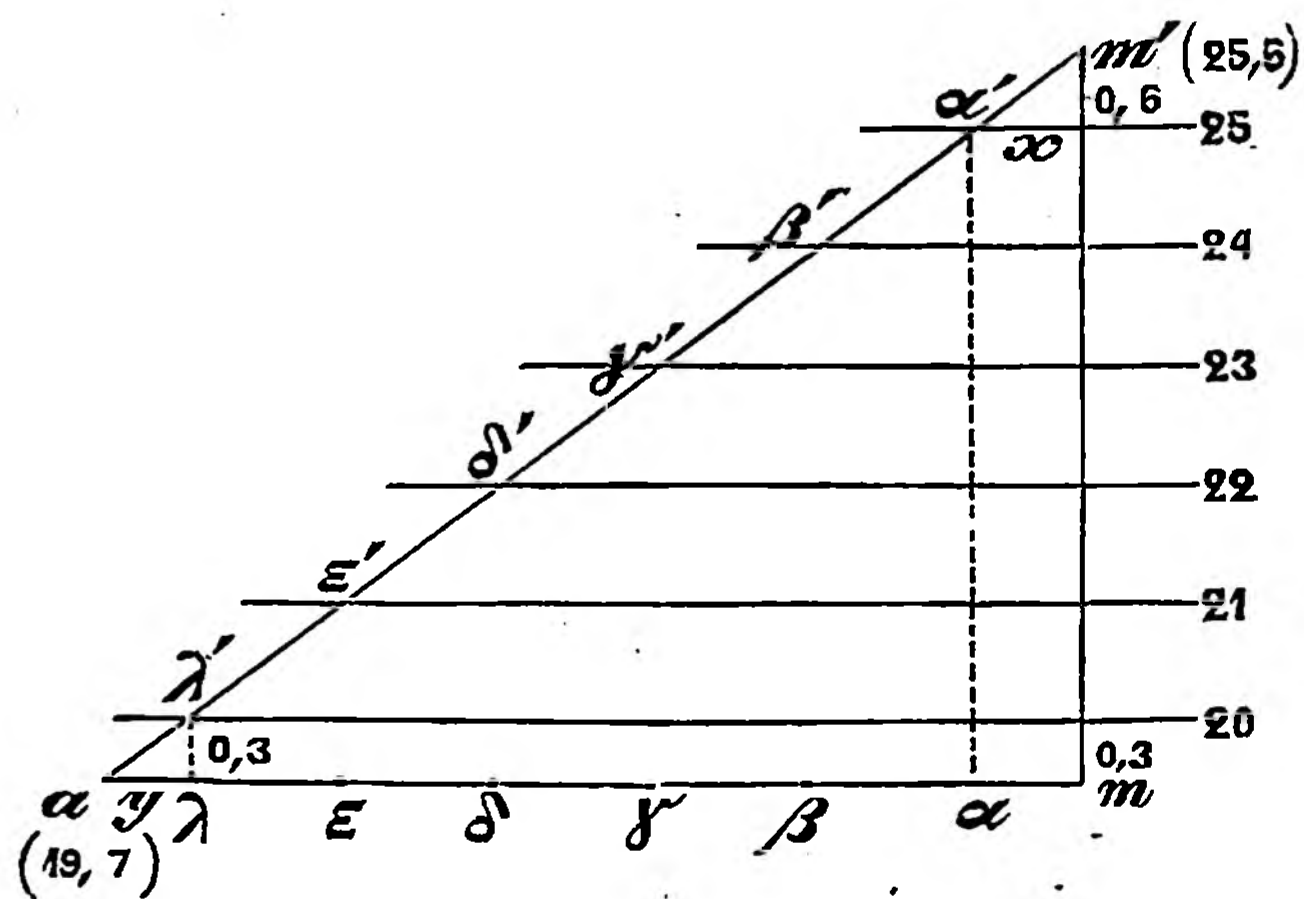
$$\begin{array}{ll} m \dots 25,6 & b \dots 21,0 \\ a \dots 19,7 & c \dots 20,3. \end{array}$$

Числа эти показываютъ, что точка *m* лежитъ выше 25 горизонтали на 0,6 отвѣснаго разстоянія между сѣкущими плоскостями, точка *a* лежитъ выше 19 горизонтали на 0,7 того же отвѣснаго разстоянія, точка *b* лежитъ на самой 21 горизонтали и точка *c* выше 20 горизонтали на 0,3; вслѣдствіе этого между точками *a* и *m* должны проходить на планѣ: 20-я, 21-я, . . . 25-я горизонтали, между *b* и *m* должны

Черт. 433.



Черт. 434.



проходить отъ 22-ой до 25-ой, наконецъ между *c* и *m* — горизонтали отъ 21-й до 25-й. Очевидно, чтобы провести эти горизонтали на планѣ, достаточно опредѣлить на немъ точки:  $\alpha, \beta, \gamma, \dots \alpha', \beta', \gamma', \dots \alpha'', \beta'', \gamma'', \dots$  пересѣченія этими горизонталями соответственныхъ направленій; тогда, соединивъ одноименныя точки кривыми линіями, получимъ горизонтали. И такъ, проведеніе горизонталей на планѣ сводится на опредѣленіе положенія мѣстъ точекъ пересѣченія ими направленій, прочерченныхъ при визированіи со станціи на пикеты. Это опредѣленіе основывается на слѣдующемъ: пусть  $\overline{am}$  (черт. 434) есть взятая съ плана длина направленія; возставимъ къ  $\overline{am}$  перпендикуляръ  $mm'$  и, отложивъ на немъ отъ точки *m* сначала 0,3 отвѣснаго разстоянія между горизонталями, получимъ точку, чрезъ которую проходитъ 20-я сѣкущая плоскость; затѣмъ отложимъ 5 разъ отвѣсное разстояніе между горизонталями и получимъ точки отъ 21-й до 25-й сѣкущихъ плоскостей; наконецъ, отложимъ 0,6 отвѣснаго разстоянія между горизонталями, чрезъ

что опредѣлится точка  $m'$  мѣстности, горизонтальное проложеніе которой есть точка  $m$  плана. Соединивъ  $m'$  съ  $a$ , получимъ разрѣзь земной поверхности, а проведя сѣкущія плоскости отъ 20 до 25 будемъ имѣть на линіи  $m'a$  точки:  $\alpha'$ ,  $\beta'$ ,  $\gamma'$ , ..., въ которыхъ она пересѣкается плоскостями. Чтобы получить проекціи этихъ точекъ на линію  $am$ , достаточно опредѣлить длины  $am = x$  и  $al = y$ , ибо, раздѣливъ затѣмъ  $al$  на 5 равныхъ частей, будемъ имѣть точки:  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ , и  $\epsilon$ , служащія проекціями точекъ:  $\beta'$ ,  $\gamma'$ ,  $\delta'$  и  $\epsilon'$ . Длины же  $x$  и  $y$  легко опредѣляются изъ пропорцій:

$$\frac{0,6}{x} = \frac{25,6 - 19,7}{am}$$

и

$$\frac{0,3}{y} = \frac{25,6 - 19,7}{am},$$

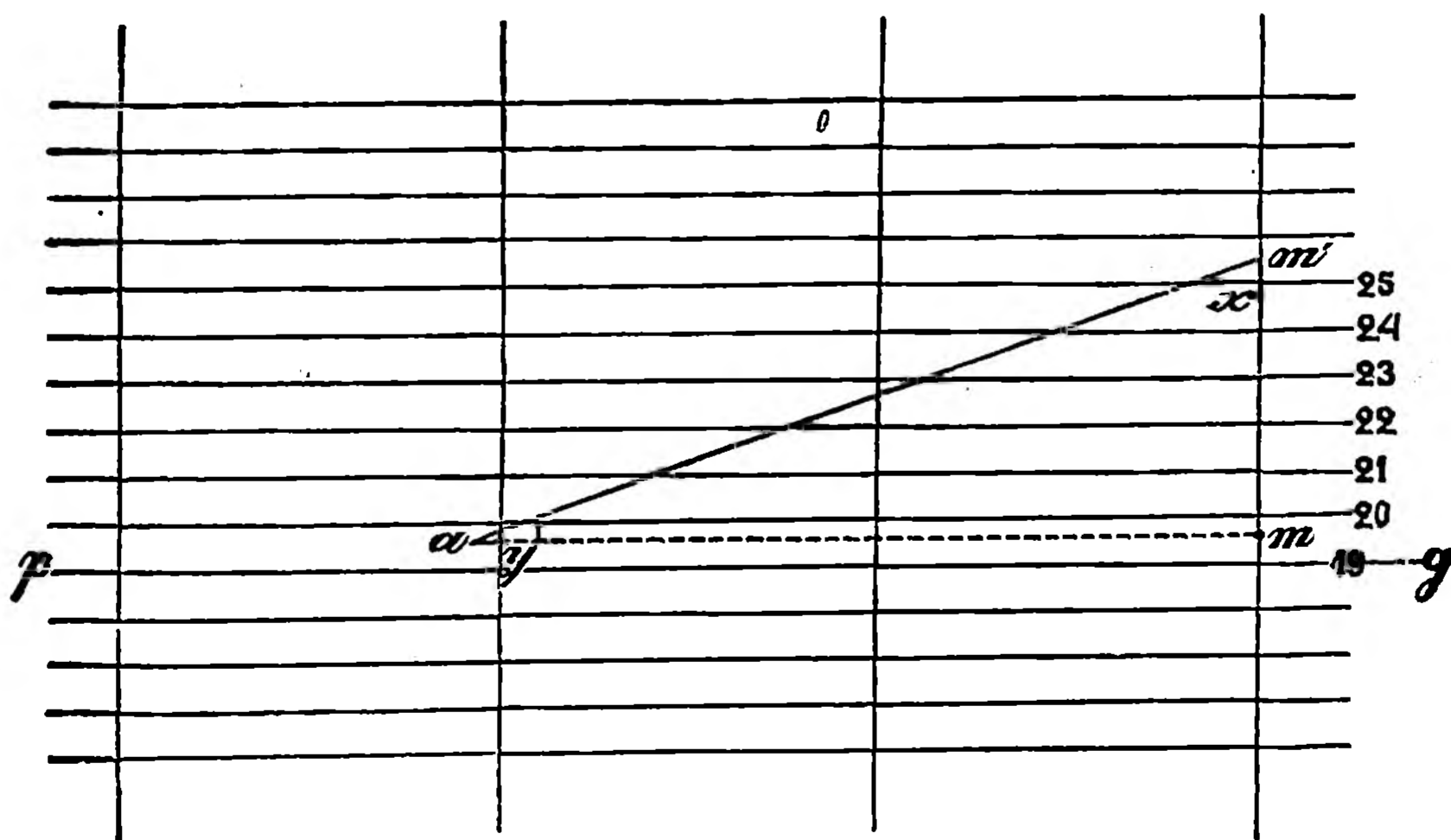
изъ которыхъ

$$x = \frac{0,6am}{5,9} \text{ и } y = \frac{0,3am}{5,9}.$$

Отсюда, зная длину линіи  $am$ , можно вычислить  $x$  и  $y$ .

На этомъ основано графическое опредѣленіе  $x$  и  $y$  посредствомъ бумаги, на которой начерченъ рядъ параллельныхъ линій, отстоящихъ другъ отъ друга въ произвольныхъ, но равныхъ разстояніяхъ; для удобства чертятся на этой бумагѣ также и линіи перпендикулярныя къ первымъ. При опредѣленіи какихъ нибудь  $x$  и  $y$  принимаютъ произвольную параллель  $rg$  (черт. 435) за низшую сѣкущую плоскость, напр. для предыдущаго примѣра за 19-ю; затѣмъ, назначивъ вверхъ на-глазь

Черт. 435.



на 0,7 разстоянія между параллелями точку  $m$ , помѣчаютъ послѣдующія параллели номерами соответственныхъ сѣкущихъ плоскостей и надъ 25-ю плоскостью назначаютъ на-глазь точку  $m'$ , отстоящую отъ этой плоскости на 0,6 разстоянія между параллелями; наконецъ, отложивъ отъ  $m$  въ сторону длину  $ma$ , взятую съ плана, соединяютъ прямою  $m'$  съ  $a$  и полученные такимъ образомъ графическія величины  $x$  и  $y$  переносятъ на планъ.

Если для изображенія неровностей была употреблена алидада Максимовича, на линейкѣ которой, какъ сказано было выше, награвирована таблица заложений, то въ томъ случаѣ, когда уголъ наклоненія даннаго

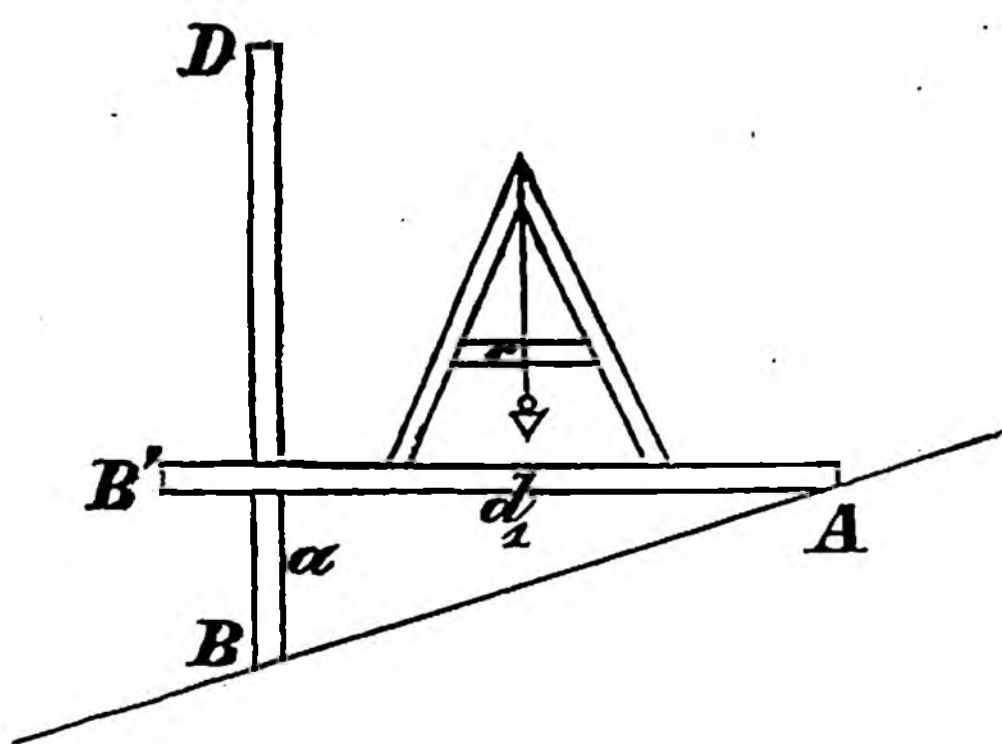


направленія содержитъ цѣлое число градусовъ, берутъ указанное въ таблицѣ заложеніе и прежде всего откладываютъ на направленіи отъ высшей и низшей его точки такія доли этого заложенія, которыя соотвѣтствуютъ превышенію высшей точки надъ ближайшею низшею горизонталью и дополненію такого превышенія для низшей точки направленія; полученный послѣ этого промежутокъ дѣлятъ на равныя части и получаютъ точки пересѣченія направленія съкующими плоскостями. Если же уголъ наклоненія направленія содержитъ не цѣлое число градусовъ, то приемъ нанесенія горизонталей не измѣняется, а необходимая при этомъ длина заложенія получится чрезъ интерполированіе между числовыми величинами заложеній, данными въ таблицѣ для ближайшаго большаго и ближайшаго меньшаго угловъ наклоненія. Нельзя упускать изъ вида, что таблица заложеній, данная на линейкѣ, вычислена для единичной высоты; если же отвѣсное разстояніе между горизонталями будетъ какое нибудь другое, то взятое изъ таблицы заложеніе надо умножить на это отвѣсное разстояніе.

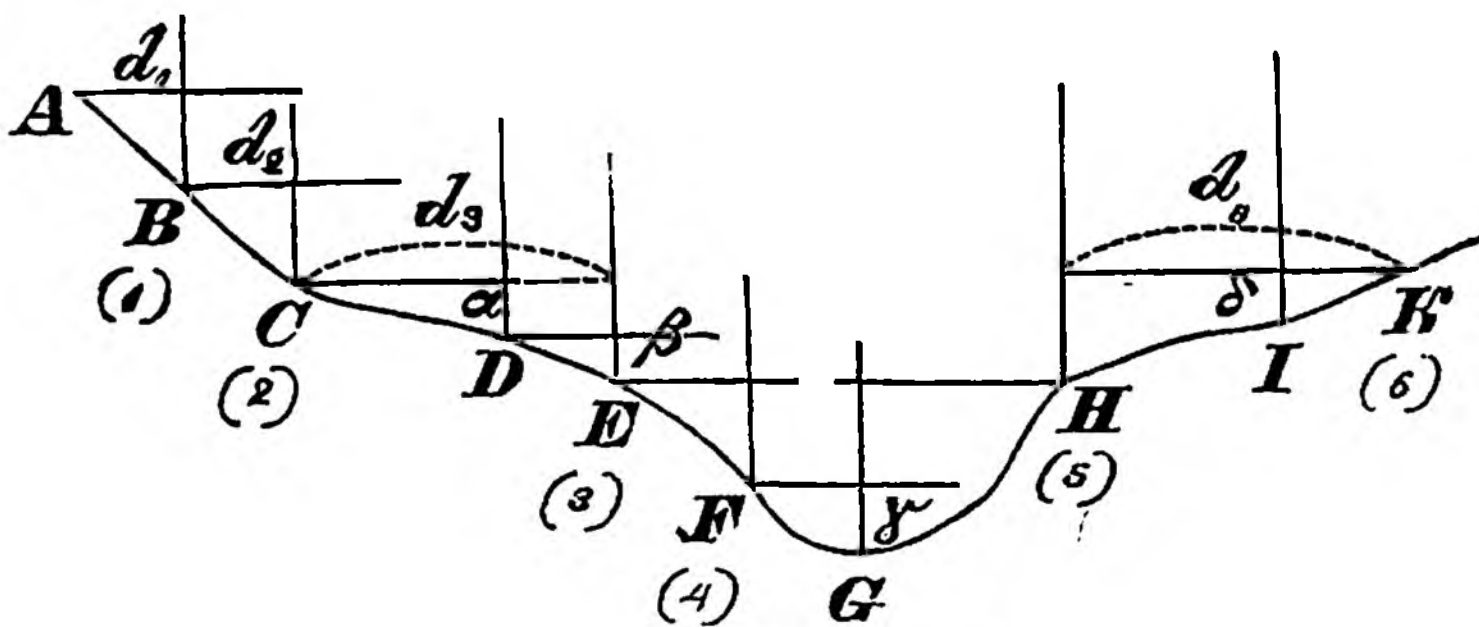
§ 178. Относительно горизонталей существуютъ различныя задачи, которыя могутъ быть отнесены къ двумъ группамъ: задачи назначенія или, какъ говорятъ, разбивки горизонталей на самой мѣстности и задачи, рѣшаемыя по плану съ горизонталями.

Разбивка горизонталей на мѣстности производится при помощи ватерпаса (или нивеллира). Познакомимся съ употребленіемъ для этой цѣли ватерпаса; при чемъ впередъ покажемъ — какъ на линіи провѣшенной на мѣстности, находить посредствомъ ватерпаса точки пересѣченія ея съ горизонтальными плоскостями, отстоящими другъ отъ друга на извѣстномъ разстояніи. Поставивъ вывѣренный ватерпасъ однимъ концомъ на высшую точку  $A$  (черт. 436) провѣшенной линіи, приводятъ нижній край бруса  $AB'$  въ горизонтальное положеніе, что достигается подниманіемъ и опусканіемъ другаго конца  $B'$  бруса до тѣхъ поръ, пока нить отвѣса будетъ совпадать со штрихомъ на распоркѣ  $r$ ; послѣ этого, приставляютъ отвѣсно рейку  $BD$  къ такому мѣсту

Черт. 436.



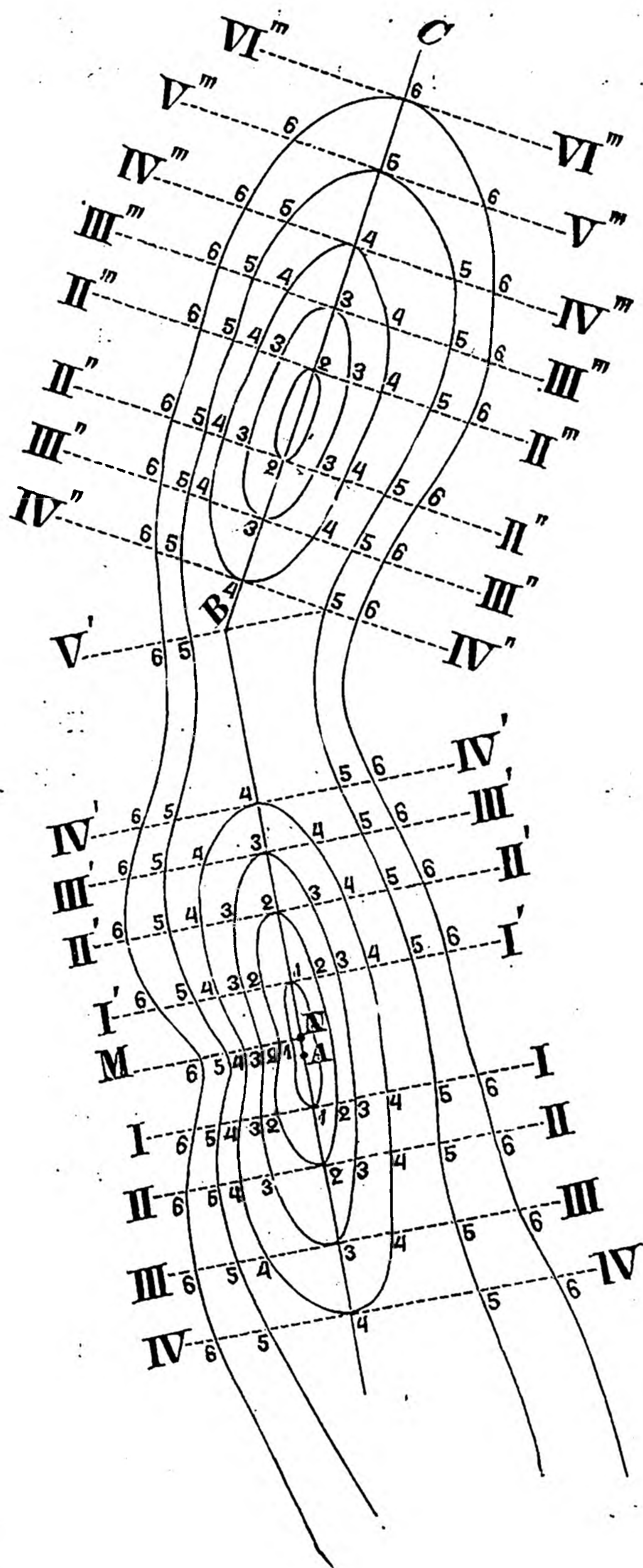
Черт. 437.



бруса  $AB'$ , чтобы нижній край его находился на штрихѣ рейки, высота котораго надъ  $B$  равна данному отвѣсному разстоянію  $a$  между съкующими плоскостями. Далѣе замѣчаютъ на брусѣ разстояніе  $d_1$  отъ  $A$  до рейки и въ землю, на мѣстѣ стоянія ея въ  $B$ , вбиваютъ колышекъ съ номеромъ 1. Это и есть точка мѣстности, находящаяся ниже точки  $A$  на данную величину  $a$  и служащая слѣдов. пересѣченіемъ первой съкующей плоскости съ данною линіею. Желая назначить на той же линіи дальнѣйшія точки пересѣченія ея съ съкующими плоскостями, переносятъ ватерпасъ заднимъ концомъ въ точку  $B$  (черт. 437), приводятъ нижній

край бруса въ горизонтальное положеніе и, поставивъ рейку въ точку  $C$ , лежащую ниже  $B$  на ту же величину  $a$ , забиваютъ въ  $C$  колышекъ съ номеромъ 2 и замѣчаютъ разстояніе  $d_2$  по брусу ватерпаса. И такъ продолжаютъ далѣе, находя постепенно точки, лежащія ниже начальной  $A$  на  $a, 2a, 3a, \dots$  и записывая горизонтальныя между ними разстоянія  $d_1, d_2, \dots$ . Можетъ случиться, что по надлежащей установкѣ ватерпаса въ какой нибудь точкѣ, приставивъ рейку даже къ переднему концу бруса ватерпаса, высота его будетъ менѣе  $a$ ; такъ напр. если задній конецъ бруса положенъ въ  $C$ , а высота передняго его конца будетъ  $\alpha$ , которое менѣе  $a$ , при чемъ  $a - \alpha = \beta$ , то, переложивъ ватерпасъ заднимъ концомъ въ  $D$ , передвигаютъ рейку вдоль его бруса настолько, чтобы отсчетъ на рейкѣ былъ  $\beta$ , и забиваютъ въ  $E$  колышекъ съ надлежащимъ номеромъ. Положимъ далѣе, что за точкою  $G$  провѣшенная линія идетъ повышаясь, тогда, измѣривъ для  $G$  величину  $\gamma$  (которая меньше  $a$ ) откладываютъ на рейкѣ, стоящей въ  $G$ , величину  $\gamma + a$  и на этой высотѣ помещаютъ ватерпасъ, передвигая его по рейкѣ вправо до тѣхъ поръ, пока передній конецъ бруса, передвигая его горизонтально, упрется въ землю. Бываетъ, что по надлежащей установкѣ ватерпаса передній конецъ не лежитъ на землѣ, несмотря на то, что брусь его выдвинуть вправо на всю свою длину; тогда къ переднему концу бруса приставляютъ рейку и, замѣтивъ на ней дѣленіе  $\delta$ , покрываемое нижнимъ ребромъ бруса, передвигаютъ его вправо не измѣняя положеніе рейки на столько, чтобы передній конецъ бруса уперся въ землю; въ этой точкѣ  $K$  забивается колышекъ. Такимъ образомъ посредствомъ ватерпаса опредѣляютъ на мѣстности точки пересѣченія провѣшенной линіи послѣдовательными сѣкущими плоскостями. Замѣчаемыя при этой работѣ на брусь ватерпаса длины  $d_1, d_2, \dots, d_6$  служатъ для изображенія на бумагѣ мѣстъ колышковъ съ номерами 1, 2,  $\dots$ , 6. Для этого проводятъ на бумагѣ линію и отъ произвольной точки ея откладываютъ на ней послѣдовательно другъ за другомъ измѣренныя разстоянія  $d_1, d_2, \dots, d_6$ .

Черт. 438.

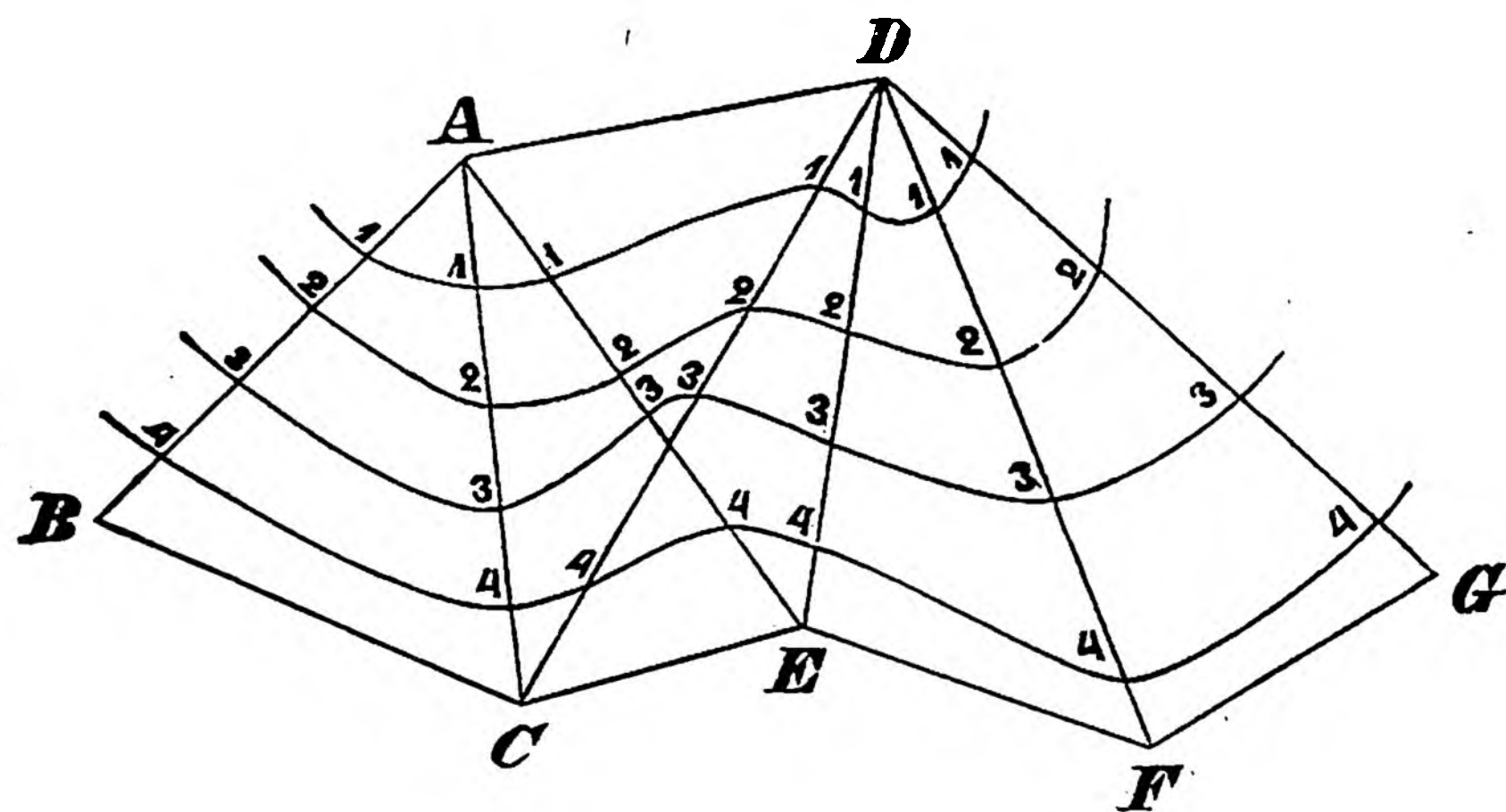


Для разбивки горизонталей на цѣломъ участкѣ сперва обозрѣваютъ

его и выбирают на немъ одну или нѣсколько линій, пролегающихъ преимущественно вдоль возвышенныхъ его частей. Пусть такими линіями будутъ  $AB$  и  $BC$  (черт. 438). Начавъ съ высшей точки  $A$ , опредѣляютъ ватерпасомъ въ обѣ стороны отъ  $A$  точки 1, 2, 3, 4, въ которыхъ провѣшенная линія пересѣкается послѣдовательными горизонтальными плоскостями. Затѣмъ въ этихъ точкахъ возставляютъ перпендикуляры  $II$ ,  $III$ ,  $\dots$   $I'I'$ ,  $II'II'$ ,  $\dots$   $II''II''$ ,  $III''III''$ ,  $\dots$   $II'''II'''$ ,  $III'''III'''$ ,  $\dots$ , по которымъ также производятъ ватерпасовку и забивку кольшкочковъ. Если при прохожденіи этихъ линій будетъ замѣчено между ними какое нибудь значительное видоизмѣненіе мѣстности, какъ напр. между линіями  $II$  и  $I'I'$ , то проводятъ такой промежуточный перпендикуляръ  $NM$ , которымъ эта неровность вполне опредѣлится; при этомъ замѣчаютъ разстояніе  $NA$  точки  $N$  отъ высшей точки  $A$ .

Для разбивки горизонталей, если участокъ не представляетъ рѣзкихъ неровностей, можно также употреблять способъ, состоящій въ предварительномъ назначеніи точекъ  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$ ,  $F$  и  $G$  (черт. 439) такимъ образомъ, чтобы соединяющія ихъ линіи проходили по мѣстамъ волнообразнымъ. Затѣмъ измѣряютъ разстоянія между этими

Черт. 439.



точками и забиваютъ на линіяхъ кольшки въ точкахъ пересѣченія ихъ съ кривыми плоскостями. Этими дѣйствіями не только опредѣляются горизонтали на мѣстности, какъ кривыя линіи, соединяющія кольшки съ одинаковыми номерами, но они достаточны и для перенесенія горизонталей на бумагу. Въ случаѣ если между обозначенными линіями встрѣтятся отдѣльныя неровности, то для назначенія на нихъ горизонталей возставляются къ этимъ линіямъ перпендикуляры, которые и проходятъ съ ватерпасомъ. Наконецъ надо добавить, что относительное положеніе точекъ  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $\dots$  между собою можетъ быть опредѣлено не только промѣрами между ними, но и опредѣленіемъ угловъ.

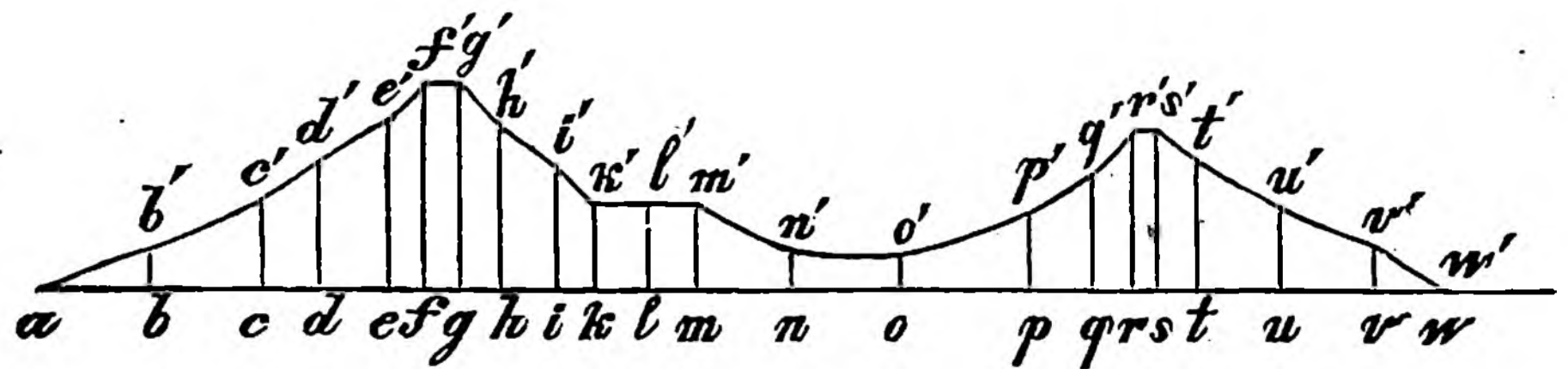
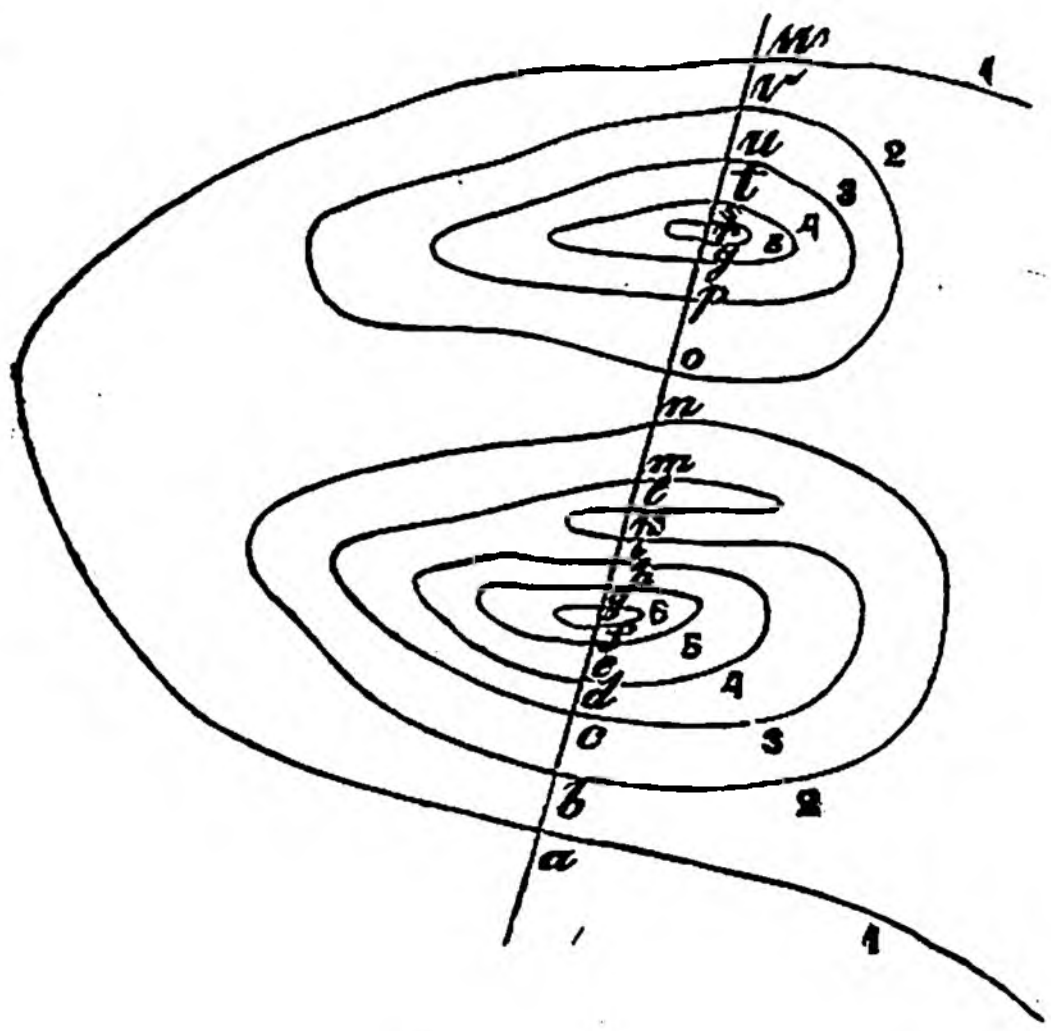
(Оба предложенные способа можно употреблять и при разбивкѣ горизонталей на мѣстности посредствомъ нивелировъ, устройство и употребленіе которыхъ будетъ описано впоследствии).

Перейдемъ теперь къ задачамъ, рѣшаемымъ по плану съ горизонталями: *a*) Положимъ, что по такому плану (черт. 440) требуется начертить профиль мѣстности, т. е. разрѣзъ ея вертикальною плоскостью по направленію линіи  $aw$ . Цифрами 1, 2, 3,  $\dots$  6 на планѣ обозначены номера горизонталей, образовавшихся отъ сѣченія мѣстности горизонталь-

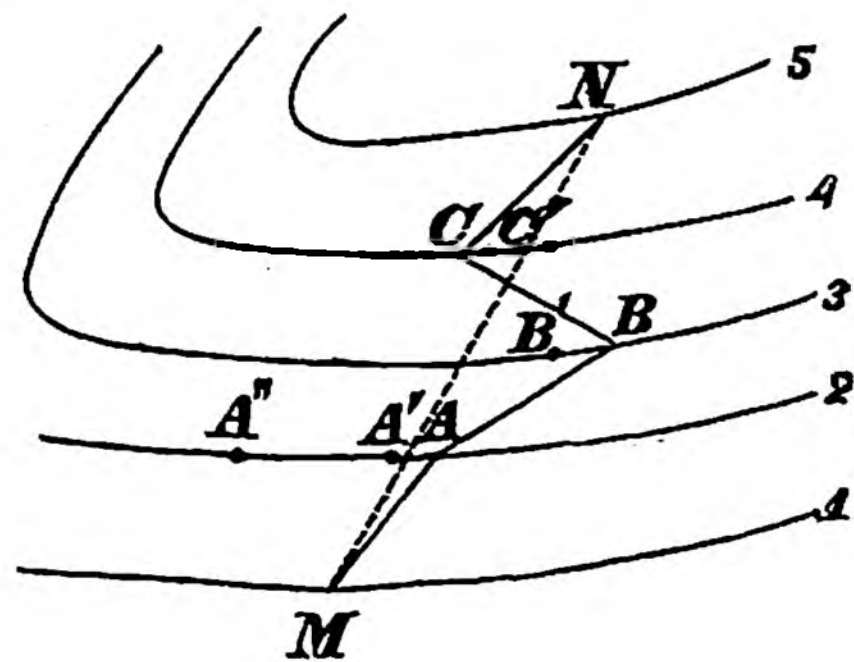
ными плоскостями, счетъ которыхъ начинается отъ низшей точки. Пусть эти сѣкущія плоскости отстоятъ другъ отъ друга на отвѣсномъ разстояніи  $a$ , которое для рѣшенія задачи необходимо должно быть извѣстно. Проведемъ прямую  $aw$  (черт. 441), на которой отложимъ послѣдовательно длины  $ab, bc, cd, \dots uv, vw$ , равныя соотвѣтственнымъ длинамъ на черт. 440; далѣе изъ точекъ отложенія возставимъ перпендикуляры и нанесемъ: на перпендикулярѣ  $bb'$  высоту  $\alpha$ , на перпендикулярѣ  $cc'$  высоту  $2\alpha$ , на  $dd'$  —  $3\alpha$ , на  $ee'$  —  $4\alpha$ , на перпендикулярахъ  $ff'$  и  $gg'$  по  $5\alpha$  (ибо точки  $f$  и  $g$  лежатъ на одной горизонтали), на  $hh'$  —  $4\alpha$ , на  $ii'$  —  $3\alpha$ , на  $kk', ll'$  и  $mm'$  по  $2\alpha$ , на  $nn'$  и  $oo'$  по  $\alpha$  и т. д. Очевидно, что полученныя точки  $b', c', d', \dots$  изображаютъ точки мѣстности; а потому, соединивъ ихъ прямыми, получимъ профиль ея по линіи  $aw$ .

Черт. 440.

Черт. 441.



Черт. 442.



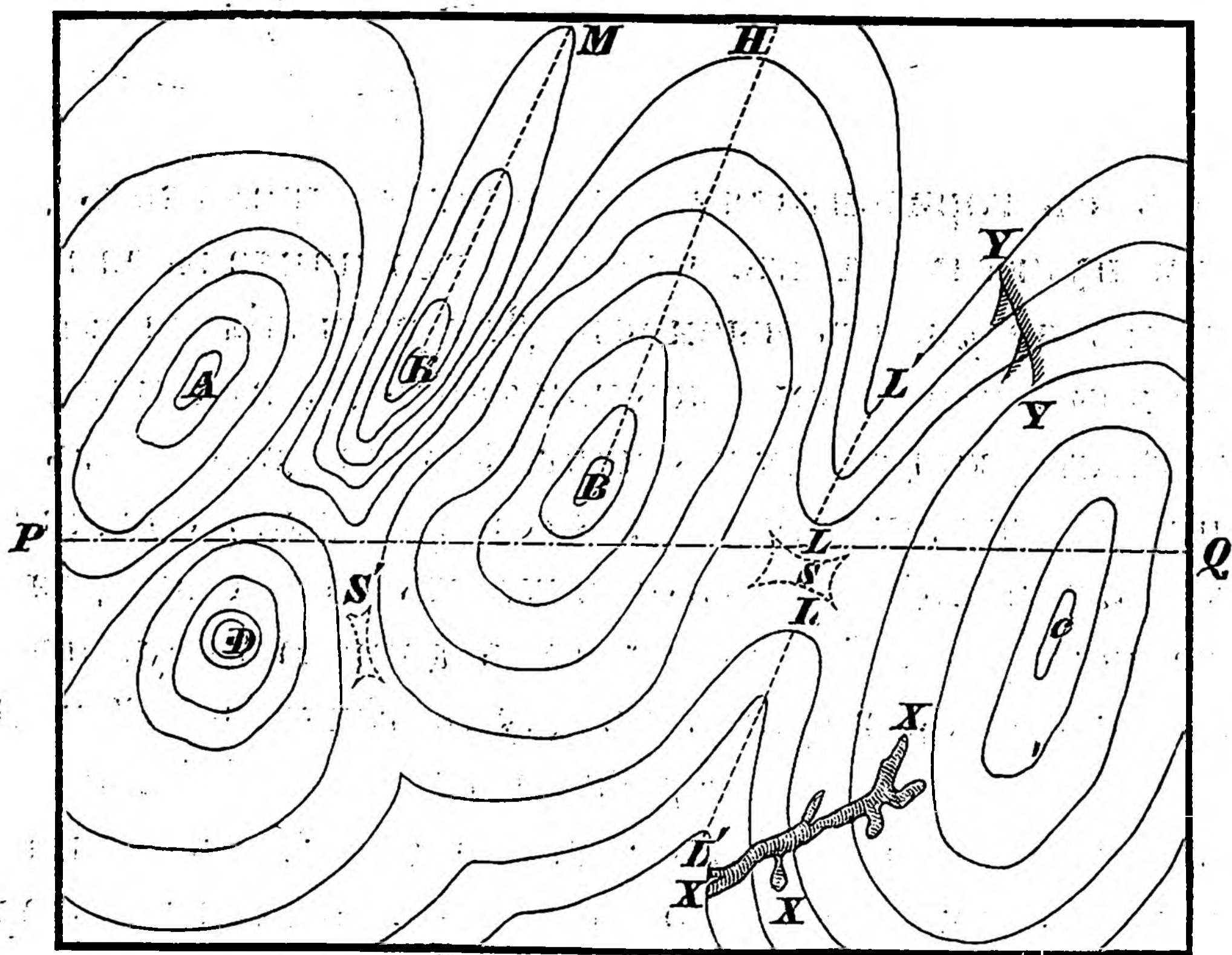
б) По плану съ горизонталями требуется проложить дорогу между двумя данными пунктами такъ, чтобы нигдѣ наклонъ ея не доходилъ до  $3^\circ$  и чтобы нигдѣ не дѣлать выемокъ. Для рѣшенія задачи необходимо, чтобы при данномъ планѣ имѣлись или таблица, или масштабъ заложеній, ему соотвѣтствующія. Пусть черт. 442 представляетъ часть плана съ двумя данными точками  $M$  и  $N$ , которыя нужно соединить дорогою. По масштабу или таблицѣ беремъ циркулемъ заложеніе для  $3^\circ$  и поставивъ одну его ножку въ  $M$ , описываемъ другою дугу, пересѣкающую слѣдующую, вторую горизонталь въ двухъ точкахъ  $A''$  и  $A'$ . Направленіе дороги по линіи  $MA'$  выгоднѣе, чѣмъ по  $MA''$ , ибо  $MA'$  ближе подходит къ пунктирной линіи, соединяющей  $M$  съ  $N$ ; но наклонъ дороги не долженъ по заданію доходить до  $3^\circ$ , поэтому за первое колѣно ея слѣдуетъ принять какую либо линію  $MA$ , находящуюся вправо отъ  $MA'$  и немного уклоняющуюся отъ  $MN$ . Очевидно, что уголъ наклоненія линіи  $MA$  на мѣстности менѣе  $3^\circ$ . Для полученія послѣдующаго колѣна засѣкаютъ изъ  $A$  горизонталь  $3$  тѣмъ же заложеніемъ въ точкѣ  $B'$  и, выбравъ точку  $B$ , лежащую нѣсколько вправо, получаютъ дальнѣйшее направленіе  $AB$  дороги. Подобнымъ же образомъ поступаютъ и для полученія направленія  $BC$ . Наконецъ послѣднее колѣно дороги будетъ  $CN$ , потому что длина этой линіи болѣе трехградуснаго залo-

женія. При назначеніи дороги на планѣ необходимо, для возможно лучшаго ея перенесенія на мѣстность, прочерчивать направленія  $MA$ ,  $AB$ ,  $BC$  и  $CN$  по длиннѣ, ибо это проложеніе можетъ дѣлаться посредствомъ мензулы такъ: поставивъ ее въ  $M$  и ориентировавъ по какой либо точкѣ сѣти, прикладываютъ алидаду къ  $MA$  (что можно сдѣлать точнѣе тогда, когда на планшетѣ прочерчена *длинная* линія) и по направленію коллимаціонной плоскости выставляютъ вѣху, по направленію на которую отмѣриваютъ длину  $MA$ ; получивъ на мѣстности точку  $A$ , переходятъ въ нее съ мензулою и ставятъ въ  $M$  вѣху; ориентируютъ планшетъ по  $AM$ , прикладываютъ алидаду къ  $AB$  и продолжаютъ попрежнему далѣе, получая послѣдовательно точку  $B$ , а затѣмъ точку  $C$ .

Кромѣ этихъ задачъ, планъ съ горизонталями можетъ служить для рѣшенія различныхъ вопросовъ въ военномъ дѣлѣ; напр. съ какой точки мѣстности можетъ быть обзрѣваемъ или обстрѣливаемъ данный участокъ? какъ далеко отстоятъ отъ данной точки тѣ мѣста, въ которыхъ непріятель можетъ скрываться за естественнымъ или искусственнымъ прикрытіемъ и т. п. Рѣшенія этихъ задачъ разсматриваются съ надлежащею подробностью въ военныхъ наукахъ.

§ 179. Неровности земной поверхности имѣютъ чрезвычайно разнообразную форму; тѣмъ не менѣе части ихъ всегда могутъ быть приведены къ одному изъ простѣйшихъ орографическихъ видовъ. Главнѣйшіе изъ этихъ видовъ, изображенные горизонталями на черт. 443, суть:

Черт. 443.



*Гора* или *холмъ* есть возвышенность болѣе или менѣе конической формы. Она представляется на планѣ горизонталями частью сомкнутыми. Въ горѣ нужно различать: *вершину*, *скаты* и *подошву*. Вершина есть высшее мѣсто горы; при чемъ если она имѣетъ видъ почти горизонтальной плоскости (напр.  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ), то наз. *плато*; если же она остроконечна ( $D$ ), то — *шпигель* или *пикомъ*. Боковая поверхность горы составляетъ ея *скаты*, а *подошва* горы есть мѣсто пересѣченія скатовъ

съ окружающею гору земною поверхностью. На скатахъ встрѣчаются такія видоизмѣненія: *перегибъ* или переходъ поверхности отъ одной крутизны къ другой; *обрывъ*, *круча* образуется при переходѣ мѣстности отлогой къ крутому скату; при этомъ если обрывъ имѣетъ значительную высоту, то онъ называется *утесомъ*, *стѣною*; наоборотъ, если крутой скатъ въ какомъ-либо мѣстѣ прерывается площадкой, даже можетъ быть незначительно наклоненною къ горизонту, то имѣемъ *террасу* или *уступъ*.

*Хребетъ* есть выпуклая поверхность, образуемая двумя противоположными скатами. Линія встрѣчи этихъ скатовъ ( $VH$ ) наз. *осью хребта* или *линіею водораздѣльною*, такъ какъ текущая отъ нея вода направляется въ разныя стороны. Хребетъ представляется на планѣ всегда выпуклыми кривыми линіями, вогнутость которыхъ обращена къ вершинѣ горы. Эти кривыя расходятся сильнѣе, по мѣрѣ своего приближенія къ водораздѣльной линіи, потому что она имѣетъ наименьшій изъ всѣхъ угловъ наклоненія скатовъ.

*Лощина* образуется также двумя противоположными скатами, но она есть поверхность вогнутая. Линія ( $LL'$ ) встрѣчи скатовъ называется *осью лощины* или *талвегомъ*\*) или *водосливною линіею*, потому что по ней направляется вода, стекающая со скатовъ. Лощина представляется вогнутыми кривыми линіями. Скаты лощины называются ея *боками* или *щеками*. Въ лощинѣ надо различать вообще слѣдующія части: *дно*, *правый и лѣвый бокъ* (*щеки*), *начало и устье*. Если лощина довольно широка, то она называется *долиною*, а узкая и длинная лощина съ крутыми боками есть *оврагъ*, *тѣснина*, *ущелье*. Къ лощинамъ должно отнести также неправильныя продолговатыя углубленія, происходящія отъ дѣйствія водъ и называемыя *промочинами* ( $XXX$ ) и *проточинами* ( $УУ$ ).

*Окраиною* наз. граница углубленія или иначе та кривая линія, по которой углубленіе граничитъ съ окружающею поверхностью.

*Сѣдломъ* или *сѣдловиною* ( $S, S'$ ) называется мѣсто встрѣчи двухъ или нѣсколькихъ противоположныхъ возвышенностей и противоположныхъ лощинъ. Такъ какъ сѣдловина лежитъ ниже непосредственно надъ нею помѣщающеюся сѣкущею плоскостью и выше такой же плоскости, непосредственно подъ нею лежащею, то на планѣ она изображается пунктирной сомкнутой горизонтальною, параллельной горизонталямъ выше и ниже ея лежащимъ.

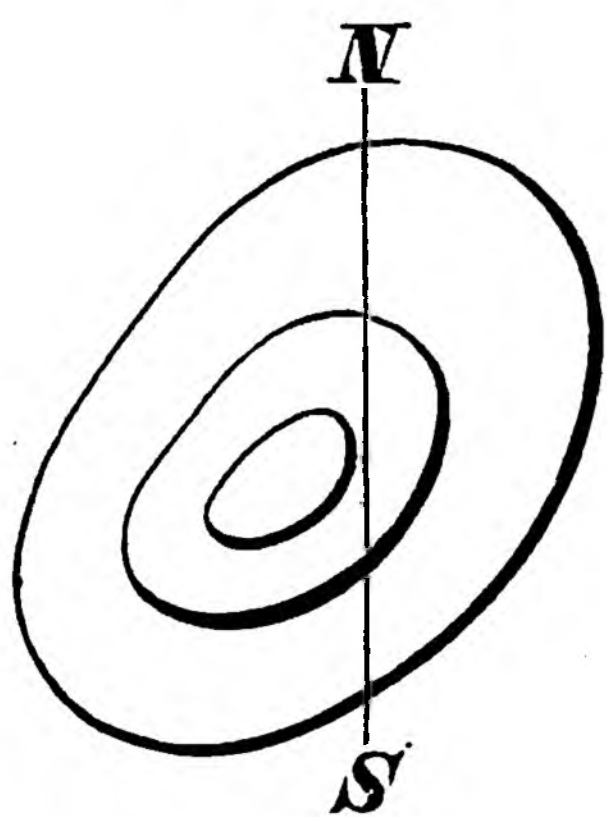
*Котловина* ( $K$ ) есть углубленіе значительныхъ размѣровъ, замкнутое со всѣхъ сторонъ. Углубленіе меньшаго протяженія есть *яма*, а углубленіе, представляющее опрокинутый пикъ, — *воронка*. Котловина, яма и воронка изображаются на планѣ горизонталями въ видѣ сомкнутыхъ кривыхъ линій.

Изъ предыдущаго видно, что нѣкоторыя углубленія и возвышенія представляются горизонталями одинаковой формы; вслѣдствіе чего является возможность смѣшивать на планѣ оба эти орографическіе вида.

\*) Отъ двухъ нѣмецкихъ словъ: *Thal* — долина и *Weg* — путь.

Такъ напр. на черт. 443  $K$  выражаетъ котловину, а линия  $KM$  — ось впадающей въ нее лоцины; между тѣмъ если отрѣзать по линіи  $PQ$  нижнюю часть чертежа можно подуматъ, что  $K$  есть вершина горы, а  $KM$  ея хребетъ. Для устраненія этого неудобства или отмыиваютъ дно углубленій свѣтлою тушью, или предполагаютъ, что мѣстность подвергается боковому освѣщенію, направленному съ сѣверо-запада\*). Въ зависимости отъ этого горизонтали, соотвѣтствующія скатамъ, обращеннымъ къ востоку и югу, при вытягиваніи утолщаются; почему и очевидно, что горизонтали чертежей 444 и 445 соотвѣтствуютъ возвышен-

Черт. 444.

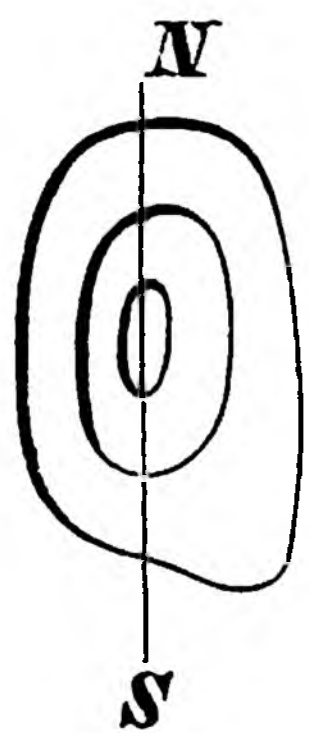


Черт. 445.

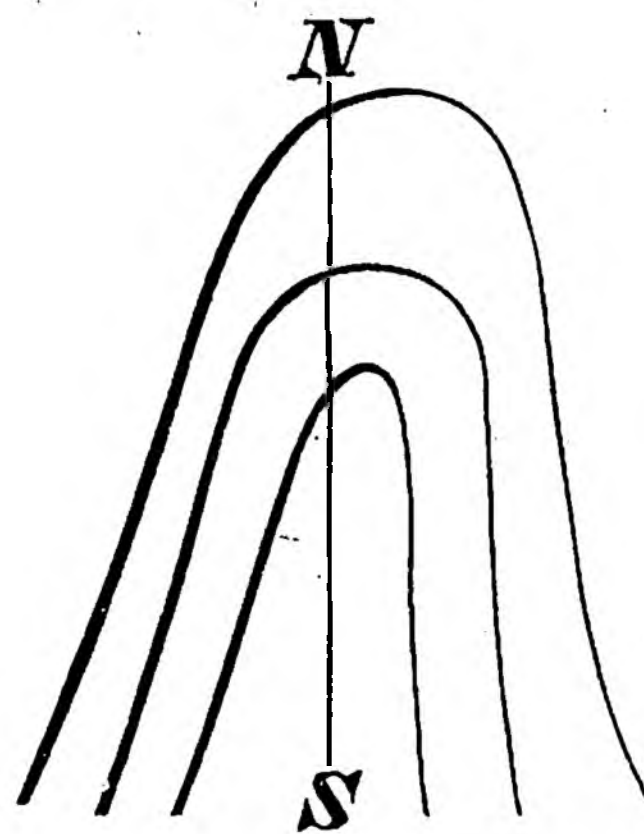


ностямъ (горѣ и хребту), а горизонтали чертежей 446 и 447 соотвѣтствуютъ углубленіямъ (котловинѣ и лоцинѣ).

Черт. 446.



Черт. 447.



Но лучший приемъ для устраненія недоразумѣній относительно возвышеній и углубленій есть подписываніе при горизонталяхъ ихъ высотъ въ немногихъ, но характерныхъ мѣстахъ плана.

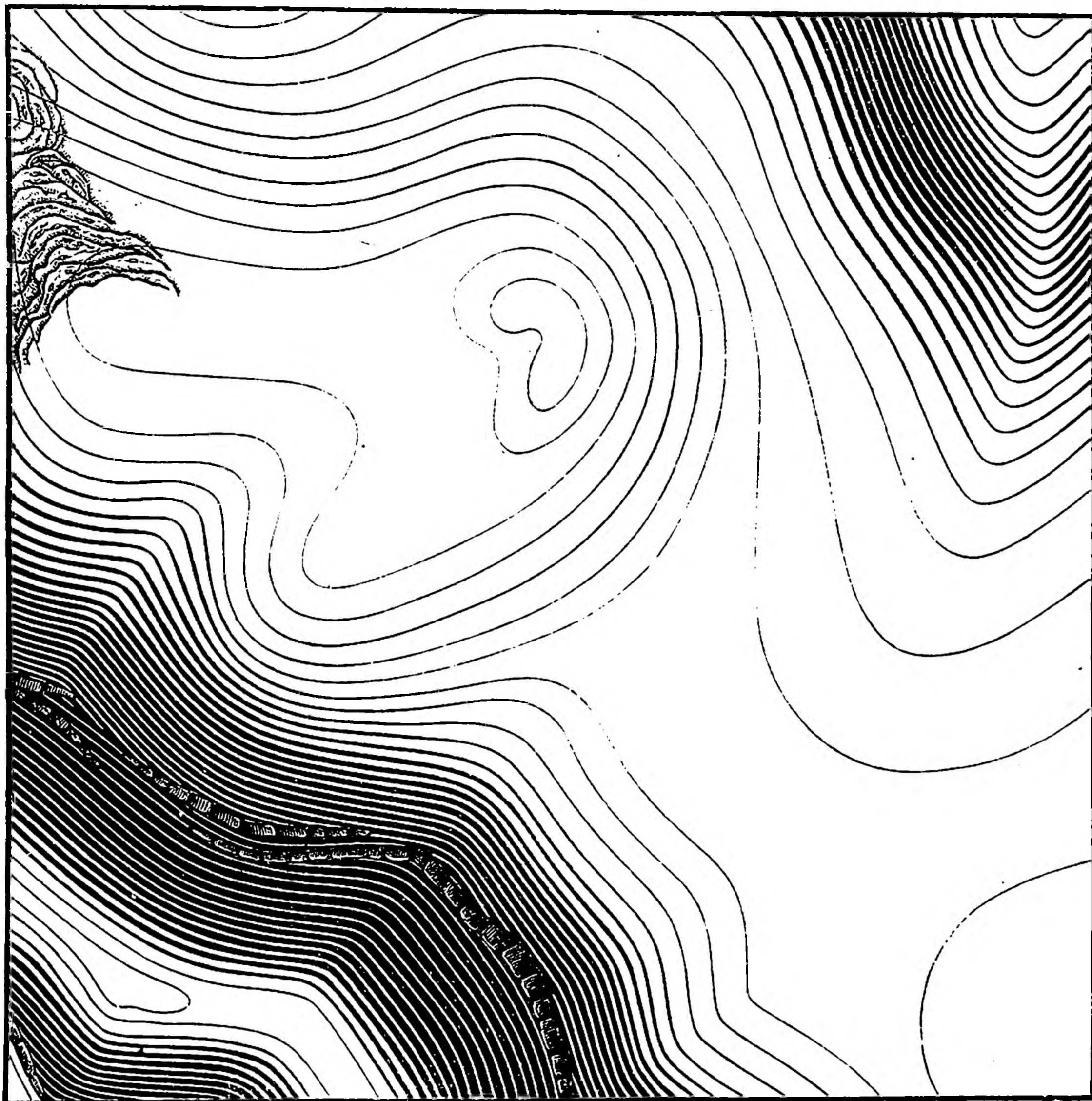
**§ 180.** Изображеніе неровностей мѣстности горизонталями, составляя безспорно самый точный изъ всѣхъ подобнаго рода способовъ и позволяющій опредѣлять размѣръ всякой отдѣльной неровности по тремъ ея измѣреніямъ, не имѣетъ однако необходимой наглядности, потому что не сообщаетъ рисунку пластичности (рельефности), а заставляетъ вдумываться для представленія себѣ въ умѣ какихъ нибудь орографическихъ особенностей мѣстности.

Недостатокъ этотъ устраняется отчасти тѣмъ, что горизонтали на отлогихъ покатостяхъ дѣлаются тонкими чертами, а на крутыхъ — тол-

\*) Такое освѣщеніе было въ первый разъ примѣнено при изданіи карты Швейцаріи генерала Дюфура, вычерченной штрихами.

стыми, и при томъ чѣмъ круче покатость, тѣмъ горизонтали толще. Этимъ способомъ выражены неровности на черт. 448, представляющемъ часть карты атласа извѣстнаго сочиненія генерала *Тотлебена* „Описание обороны гор. Севастополя“.

Черт. 448.



Другой недостатокъ горизонталей состоитъ въ томъ, что этотъ способъ не даетъ возможности выразить на планѣ мелкія неровности, которыя при данномъ отвѣсномъ разстояніи горизонтальныхъ плоскостей не пересѣкаются ими и остаются пропущенными.

Въ томъ случаѣ, когда главнѣйшее условіе, требуемое отъ плана, есть его наглядность, какъ напр. для плановъ военныхъ, употребляютъ другой условный знакъ, который позволяетъ безъ малѣйшаго обдумыванія видѣть или, какъ говорятъ, *читать* по плану рельефъ мѣстности. Такой менѣе точный, но сообщающій рисунку чрезвычайную выразительность, способъ есть изображеніе неровностей штрихами или шрафировка.

§ 181. Во всѣхъ системахъ шрафировки неровностей на планѣ или, иначе, *ситуаціонномъ*\*) черченіи принимается какъ въ Россіи, такъ и во многихъ европейскихъ государствахъ, что данная мѣстность освѣщается лучами, падающими на нее отвѣсно, и всѣ покатоности выражаются при этомъ штрихами, ставимыми между горизонталями. Степень

\*) Лат. слово *situatio* означаетъ положеніе.

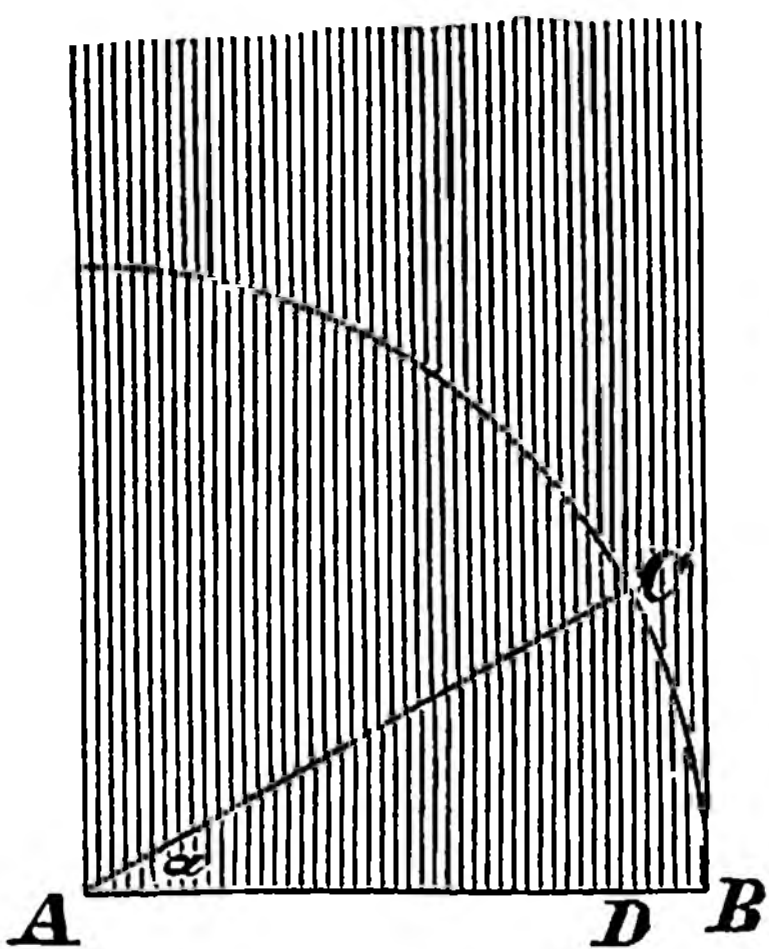


толщины этихъ штриховъ обусловливается степенью крутизны покатости. Вообразимъ горизонтальную линію  $AB$  (черт. 449), освѣщенную лучами, падающими на нее отвѣсно, и повернемъ ее около  $A$  на уголъ  $\alpha$ , такъ что она займетъ положеніе  $AC$ ; тогда количество лучей, падающихъ на  $AC$ , обусловится равенствомъ

$$AD = AC \cdot \cos \alpha = AB \cdot \cos \alpha$$

или при  $AB=1$  получимъ  $AD = \cos \alpha$ . Разность же  $AB - AD = 1 - \cos \alpha$  можетъ выразить количество лучей, потерянныхъ для  $AC$  или, иначе,

Черт. 449.



количество тѣни. Вслѣдствіе чего степень освѣщенія покатости, наклоненной къ горизонту подъ угломъ  $\alpha$ , или отношеніе свѣта, падающаго на нее, къ тѣни выразится отношеніемъ

$$\cos \alpha : (1 - \cos \alpha).$$

Это естественное отношеніе, изъ котораго можно заключить о густотѣ тѣни для покатости съ извѣстнымъ угломъ наклоненія, оказалось неудобопримѣнимымъ къ шрафировкѣ горъ по двумъ причинамъ. Во *первыхъ*, оно обращается въ нуль лишь при  $\alpha = 90^\circ$ , т. е. при покатостяхъ отвѣсныхъ, которыя по предыдущему отношенію остаются безъ освѣщенія и должны быть совершенно затемняемы; между тѣмъ въ дѣйствительности можно покрывать сплошь тушью покатости, начиная уже съ  $45^\circ$ , ибо всѣ онѣ недоступны. Вслѣдствіе этого выгоднѣе уменьшить предѣлъ покатостей, не различаемыхъ на планѣ, вдвое, т. е. принять его не въ  $90^\circ$ , а въ  $45^\circ$ , ибо тогда получится возможность вдвое рѣзче различать остальные покатости по степени ихъ освѣщенія. *Второе* неудобство предыдущаго отношенія состоитъ въ томъ, что такъ какъ въ природѣ чаще встрѣчаются покатости съ небольшими углами наклоненія, а косинусы малыхъ угловъ измѣняются медленно, то степень освѣщенія покатости, выводимая изъ предыдущаго отношенія, будетъ измѣняться также медленно.

Эти два неудобства побудили *Лемана* принять предѣлъ угловъ наклоненія покатостей, различаемыхъ на планѣ, равнымъ  $45^\circ$ , а степень густоты тѣни выразить отношеніемъ  $\alpha : (45^\circ - \alpha)$ , гдѣ  $\alpha$  есть данный уголъ наклоненія. Но такъ какъ степень густоты тѣни можно разсма-

тривать какъ отношеніе количества тѣни къ количеству свѣта, получаемаго покатостью, то имѣемъ что

$$\text{тѣнь} : \text{къ свѣту} = \alpha : (45^\circ - \alpha).$$

Съ другой стороны, если тѣнь выражать штрихами различной толщины, а свѣтъ — промежуткомъ между ними, то можно сказать, что Леманъ принялъ, чтобы

$$\text{толщина штриха} : \text{къ промежутку} = \alpha : (45^\circ - \alpha).$$

Такъ какъ покатости отъ  $0^\circ$  до  $45^\circ$  Леманъ раздѣлилъ на 9 разрядовъ по  $5^\circ$  въ каждомъ, то по предыдущей пропорціи получимъ

для $5^\circ$ ,	толщ. штр. :	къ промеж. =	$5^\circ : 40^\circ = 1 : 8,$
для $10^\circ$ ,	” ” :	” =	$10^\circ : 35^\circ = 2 : 7,$
для $15^\circ$ ,	” ” :	” =	$15^\circ : 30^\circ = 3 : 6,$
для $20^\circ$ ,	” ” :	” =	$20^\circ : 25^\circ = 4 : 5,$
для $25^\circ$ ,	” ” :	” =	$25^\circ : 20^\circ = 5 : 4,$
для $30^\circ$ ,	” ” :	” =	$30^\circ : 15^\circ = 6 : 3,$
для $35^\circ$ ,	” ” :	” =	$35^\circ : 10^\circ = 7 : 2,$
для $40^\circ$ ,	” ” :	” =	$40^\circ : 5^\circ = 8 : 1.$
для $45^\circ$ ,	” ” :	” =	$45^\circ : 0^\circ = \infty.$

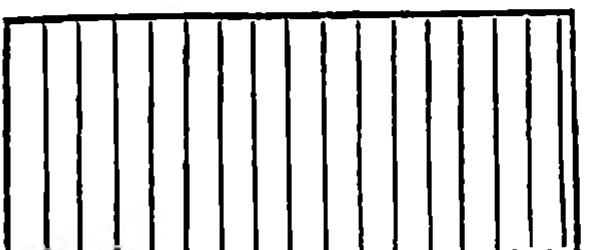
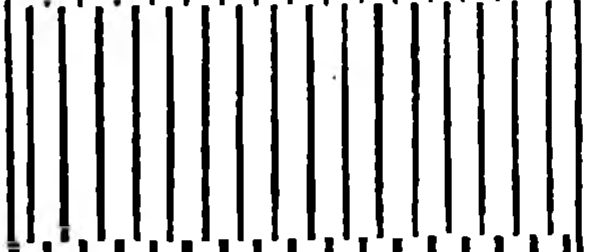




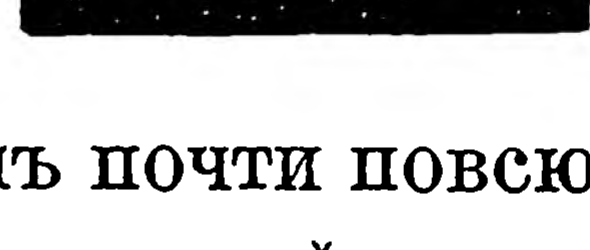
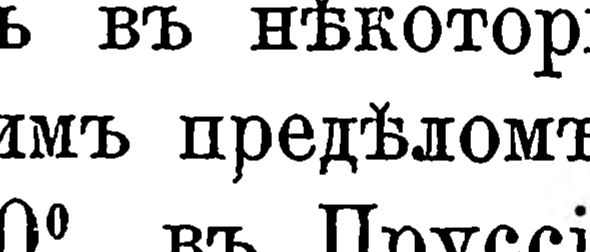
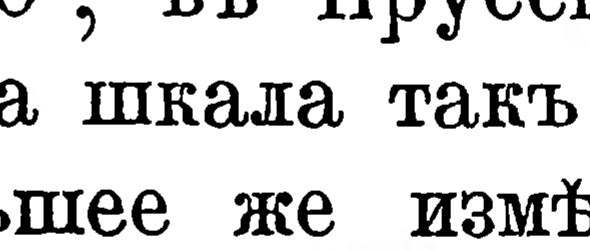
Отсюда видно, что если представимъ себѣ прямоугольникъ, имѣющій въ основаніи 9 какихъ нибудь единицъ, то для изображенія покатости въ  $5^\circ$  надо одну единицу площади этого прямоугольника покрыть тушью, а 8 единицъ оставить не покрытыми; для покатости въ  $20^\circ$  надо затемнить тушью 4 единицы, а 5 единицъ оставить свѣтлыми; и т. д. Другими словами, для покатости въ  $5^\circ$  штрихъ долженъ быть въ 8 разъ тоньше промежутка или, иначе, промежутокъ на покатости въ  $5^\circ$  долженъ равняться 8 пятиградуснымъ штрихамъ, а для покатости въ  $20^\circ$  промежутокъ между штрихами долженъ быть равенъ 5 пятиградуснымъ штрихамъ; толщина же каждаго штриха должна быть равна 4 пятиградуснымъ штрихамъ. Последняя изъ пропорцій предыдущей таблицы показываетъ, что для покатости въ  $45^\circ$  весь прямоугольникъ долженъ быть залитъ тушью, не оставляя ничего для промежутка. Къ таблицѣ надо прибавить, что покатости съ углами наклоненія, заключающимися между данными въ ней углами, должны быть отнесены къ предыдущей покатости.

На этихъ началахъ основано черченіе такъ называемой *шкалы штриховъ Лемана*, изображенной на черт. 450. Такъ какъ штрихи ставятся между горизонталями, а разстояніе между ними уменьшается по мѣрѣ увеличенія угла наклоненія ската, то въ томъ же отношеніи должны уменьшаться и длины штриховъ.

Для приданія ситуационнымъ штрихамъ большаго значенія, Леманъ выражаетъ ими не только крутизну ската, но и направленіе его; для чего онъ предложилъ ставить ихъ перпендикулярно къ горизонталямъ, ибо направленіе ската есть линія перпендикулярная къ горизонталямъ. Вслѣдствіе этого, если горизонталы суть прямыя параллельныя, то

штрихи должны быть тоже между собою параллельны; въ случаѣ не параллельности горизонталей, штрихи тоже взаимно непараллельны, и при томъ на покатостяхъ выпуклыхъ они будутъ расходящимися книзу, а на покатостяхъ вогнутыхъ они книзу сближаются.

Черт. 450.

Углы наклон. $\alpha$	$45^\circ = \alpha$	Отношеніе толщины штриховъ къ пром.	ШТРИХИ.
5°	40°	1 : 8	
10°	35°	2 : 7	
15°	30°	3 : 6	
20°	25°	4 : 5	
25°	20°	5 : 4	
30°	15°	6 : 3	
35°	10°	7 : 2	
40°	5°	8 : 1	
45°	0°	$\infty$	

Система Лемана принята въ общемъ почти повсюду, но относительно своихъ подробностей она подверглась въ нѣкоторыхъ государствахъ измѣненіямъ; такъ, въ Австріи крайнимъ предѣломъ изображенія покатостей служитъ  $50^\circ$ , въ Баваріи —  $60^\circ$ , въ Пруссіи измѣненъ *Мюф-флингомъ* видъ штриховъ и предложена шкала такъ называемыхъ *характеристическихъ штриховъ*. Наибольшее же измѣненіе сдѣлано для Россіи *Болотовымъ*, который обратилъ вниманіе на то, что въ шкалѣ Лемана много подраздѣленій для покатостей крутыхъ и мало для покатостей отлогихъ; между тѣмъ въ Россіи, странѣ равнинной, чаще встрѣчаются покатости отлогія до  $10^\circ$  и потому для нихъ нужно имѣть больше разрядовъ.

*Шкала Болотова* имѣетъ тоже 9 разрядовъ и то же отношеніе между толщиной штриховъ и промежутковъ между ними, но другую градацію угловъ наклоненія покатостей. Это видно изъ слѣдующей таблицы, въ которой приведены эти углы вмѣстѣ съ рядомъ угловъ наклоненія системы Лемана:

Система Лемана :  $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ, 45^\circ$ ,  
 Система Болотова :  $1^\circ, 2^\circ, 4^\circ, 7^\circ, 11^\circ, 16^\circ, 23^\circ, 32^\circ, 45^\circ$ ,  
 Отнош. толщ. штр. къ промеж. 1:8, 2:7, 3:6, 4:5, 5:4, 6:3, 7:2, 8:1,  $\infty$ .

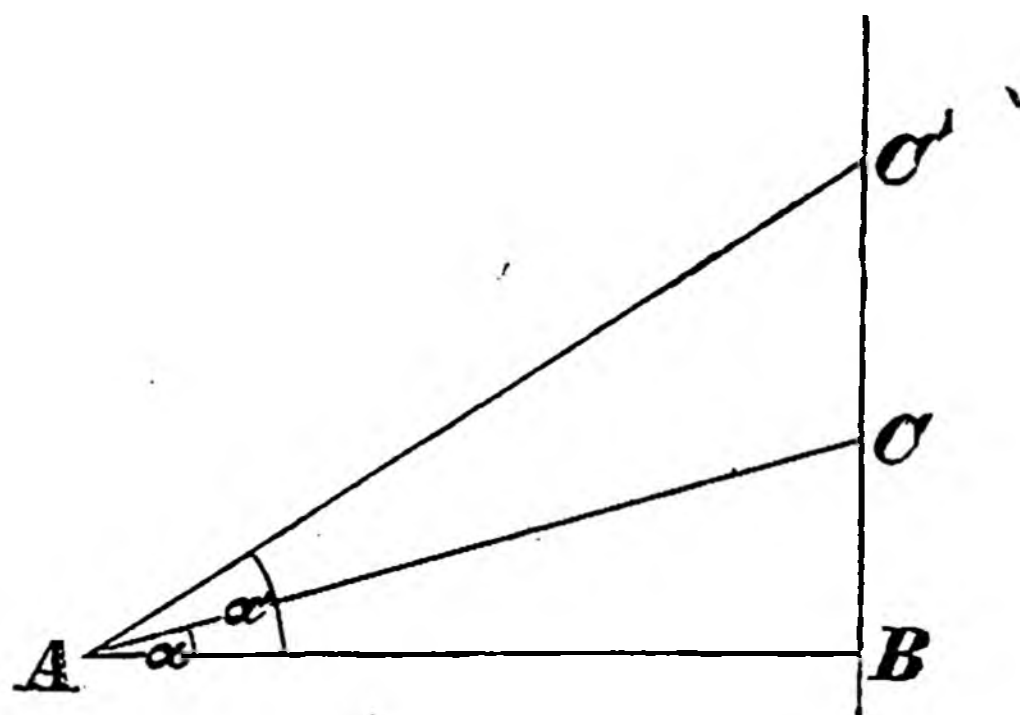
Отсюда видно, что на долю угловъ наклоненія покатостей до  $10^\circ$  у Лемана имѣются только два разряда, тогда какъ у Болотова для покатостей до  $11^\circ$  ихъ пять.

Недостатокъ шкалы Болотова состоитъ въ томъ, что она даетъ слишкомъ сильныя тѣни для слабыхъ покатостей.

Послѣдовательность угловъ наклоенія системы Болотова, совершенно произвольная, оправдывается отчасти тѣмъ положеніемъ, которое принято было *впоследствии* въ основаніе системы Главнаго Штаба; а именно, степень доступности покатости для человѣка или, иначе, *трудность восхожденія его на покатость пропорціональна тангенсу угла наклоенія покатости.*

Такъ что если трудность восхожденія на покатость  $AC$  (черт. 451) обозначимъ чрезъ  $k$ , трудность восхожденія на покатость  $AC'$  чрезъ  $k'$ ,

Черт. 451.



а углы наклоенія этихъ покатостей соотвѣтственно чрезъ  $\alpha$  и  $\alpha'$ , то принято, что

$$k : k' = \operatorname{tg}\alpha : \operatorname{tg}\alpha' = \frac{BC}{AB} : \frac{BC'}{AB} = BC : BC'.$$

Вслѣдствіе этого углы наклоенія системы Главнаго Штаба должны быть опредѣлены такъ, чтобы тангенсы ихъ составляли прогрессию геометрическую. За первый членъ этой прогрессіи принимается  $\operatorname{tg}1^\circ$ , за послѣдній  $\operatorname{tg}45^\circ = 1$ , а число членовъ должно быть равно 10. По этимъ даннымъ можно опредѣлить углы наклоенія для остальныхъ членовъ геометрической прогрессіи

$$\therefore \operatorname{tg}1^\circ : \operatorname{tg}\alpha : \operatorname{tg}\beta : \operatorname{tg}\gamma : \operatorname{tg}\delta : \operatorname{tg}\epsilon : \operatorname{tg}\zeta : \operatorname{tg}\lambda : \operatorname{tg}\mu : \operatorname{tg}45^\circ.$$

Дѣйствительно, такъ какъ послѣдній членъ  $m$  геометрической прогрессіи опредѣляется по формулѣ  $m = aq^{n-1}$ , гдѣ  $a$  есть первый членъ прогрессіи,

$q$  — ея знаменатель и  $n$  — число членовъ, то  $q = \sqrt[n-1]{\frac{m}{a}}$ . Подставивъ

сюда вмѣсто  $n$ ,  $m$  и  $a$  соотвѣтственные числовыя значенія, въ состояніи будемъ вычислить тангенсы предыдущихъ угловъ, а по нимъ и самые углы  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ , . . . .  $\mu$ . Совершивъ это, получимъ слѣдующій рядъ угловъ наклоенія системы Главнаго Штаба:

$$1^\circ, 1\frac{1}{2}^\circ, 2\frac{1}{2}^\circ, 4^\circ, 6^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 22^\circ, 33^\circ, 45^\circ.$$

Члены этого ряда весьма близко подходятъ къ членамъ ряда Болотова, въ особенности если не упускать изъ вида того, что число членовъ его есть 10, тогда какъ у Болотова оно равно 9 и откинуть или первый, или, еще лучше, второй членъ ряда Главнаго Штаба. Шкала штриховъ, построенная для ряда угловъ наклоенія Главнаго Штаба, мало распространена по затруднительности ея черченія и примѣненія.

Въ заключеніе о штафировкѣ плана надо сказать, что, будучи вычерченъ штрихами, онъ даетъ чрезвычайно наглядное понятіе объ

орографическихъ формахъ изображаемой имъ мѣстности. Во всякомъ мѣстѣ такого плана хорошо видно также и направленіе ската. Менѣе точно можно судить по нему объ углѣ наклоненія даннаго ската, который опредѣляется отношеніемъ толщины штриха къ промежутку; отношеніе же это оцѣнивается на глазъ и кромѣ того зависитъ отъ болѣе или менѣе точнаго его соблюденія чертежникомъ, для уменьшенія произвола котораго принято помѣщать на протяженіи одного дюйма: около 15 штриховъ при пятидесятинномъ  $\left(\frac{1}{4200}\right)$  масштабѣ, отъ 20 до 25 штриховъ при сотенномъ  $\left(\frac{1}{8400}\right)$  масштабѣ, отъ 30 до 35 штриховъ въ двухсотенномъ  $\left(\frac{1}{16800}\right)$  и полуверстовомъ  $\left(\frac{1}{21000}\right)$  масштабѣ и отъ 40 до 60 штриховъ въ верстовомъ  $\left(\frac{1}{42000}\right)$  масштабѣ.

§ 182. Неровности мѣстности выражаются наконецъ на планѣ ихъ оттѣнкою болѣе или менѣе темноты, смотря по степени крутизны покатости. Для этого употребляется или наскобленный графитъ и особая *растушевка*, помощью которой покрывается графитомъ требуемая часть плана, или темныя краски, каковы: тушь, сепія и т. п., и простая рисовальная кисть. Въ первомъ случаѣ имѣемъ *способъ тушеванія*, а во второмъ — *отмывку*. Понятно, что тушеваніе менѣе прочно отмывки и легко размазывается, почему и употребляется только на планахъ, исполненныхъ въ карандашѣ.

Оба эти способа употребляются для скорости, а также и тогда, когда на планахъ выражаются только значительныя покатости, неудобныя для сельско-хозяйственной обработки, какъ напр. на межевыхъ планахъ: обрывы, лоцины, утесы и т. п. Этими способами можно выразить только общій характеръ неровностей, но о направленіи и крутизнѣ ската, а тѣмъ болѣе объ относительной высотѣ точекъ, они не могутъ дать понятія.



## Таблица I

для превращенія старого дѣленія окружности въ новое.

Градусы.

°	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
00	0,0..	1,1..	2,2..	3,3..	4,4..	5,5..	6,6..	7,7..	8,8..	10,0..
10	11,1..	12,2..	13,3..	14,4..	15,5..	16,6..	17,7..	18,8..	20,0..	21,1..
20	22,2..	23,3..	24,4..	25,5..	26,6..	27,7..	28,8..	30,0..	31,1..	32,2..
30	33,3..	34,4..	35,5..	36,6..	37,7..	38,8..	40,0..	41,1..	42,2..	43,3..
40	44,4..	45,5..	46,6..	47,7..	48,8..	50,0..	51,1..	52,2..	53,3..	54,4..
50	55,5..	56,6..	57,7..	58,8..	60,0..	61,1..	62,2..	63,3..	64,4..	65,5..
60	66,6..	67,7..	68,8..	70,0..	71,1..	72,2..	73,3..	74,4..	75,5..	76,6..
70	77,7..	78,8..	80,0..	81,1..	82,2..	83,3..	84,4..	85,5..	86,6..	87,7..
80	88,8..	90,0..	91,1..	92,2..	93,3..	94,4..	95,5..	96,6..	97,7..	98,8..
90	100,0..	101,1..	102,2..	103,3..	104,4..	105,5..	106,6..	107,7..	108,8..	110,0..
100	111,1..	112,2..	113,3..	114,4..	115,5..	116,6..	117,7..	118,8..	120,0..	121,1..
110	122,2..	123,3..	124,4..	125,5..	126,6..	127,7..	128,8..	130,0..	131,1..	132,2..
120	133,3..	134,4..	135,5..	136,6..	137,7..	138,8..	140,0..	141,1..	142,2..	143,3..
130	144,4..	145,5..	146,6..	147,7..	148,8..	150,0..	151,1..	152,2..	153,3..	154,4..
140	155,5..	156,6..	157,7..	158,8..	160,0..	161,1..	162,2..	163,3..	164,4..	165,5..
150	166,6..	167,7..	168,8..	170,0..	171,1..	172,2..	173,3..	174,4..	175,5..	176,6..
160	177,7..	178,8..	180,0..	181,1..	182,2..	183,3..	184,4..	185,5..	186,6..	187,7..
170	188,8..	190,0..	191,1..	192,2..	193,3..	194,4..	195,5..	196,6..	197,7..	198,8..
180	200,0..	201,1..	202,2..	203,3..	204,4..	205,5..	206,6..	207,7..	208,8..	210,0..

Минуты.

'	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
00	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,
10	000 000	018 519	037 037	055 556	074 074	092 593	111 111	129 630	148 148	166 167
20	185 185	203 704	222 222	240 741	259 259	277 778	296 296	314 815	333 333	351 852
30	370 370	388 889	407 407	425 926	444 444	462 963	481 481	500 000	518 519	537 037
40	555 556	574 074	592 593	611 111	629 630	648 148	666 667	685 185	703 704	722 222
50	740 741	759 259	777 778	796 296	814 815	833 333	851 852	870 370	888 889	907 407
					1,	1,	1,	1,	1,	1,
	925 926	944 444	962 963	981 481	000 000	018 519	037 037	055 556	074 074	092 593

Секунды.

"	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
00	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,
10	000 000	000 309	000 617	000 926	001 235	001 543	001 852	002 160	002 469	002 778
20	003 086	003 395	003 704	004 012	004 321	004 630	004 938	005 247	005 556	005 864
30	006 173	006 481	006 790	007 099	007 407	007 716	008 025	008 333	008 642	008 951
40	009 259	009 568	009 877	010 185	010 494	010 803	011 111	011 420	011 728	012 037
50	012 346	012 654	012 963	013 272	013 580	013 889	014 198	014 506	014 815	015 123
	015 432	015 741	016 049	016 358	016 667	016 975	017 284	017 593	017 901	018 210
"	, 00	, 01	, 02	, 03	, 04	, 05	, 06	, 07	, 08	, 09
0,0	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,	0,
0,1	000 000	000 003	000 006	000 009	000 012	000 015	000 019	000 022	000 025	000 028
0,2	31	34	37	40	43	46	49	52	56	59
0,3	62	65	68	71	74	77	80	83	86	90
0,4	93	96	99	102	105	108	111	114	117	120
0,5	123	127	130	133	136	139	142	145	148	151
0,6	154	157	160	164	167	170	173	176	179	182
0,7	185	188	191	194	198	201	204	207	210	213
0,8	216	219	222	225	228	231	235	238	241	244
0,9	247	250	253	256	259	262	265	269	272	275
	278	281	284	287	290	293	296	299	302	306

## Таблица II

для превращенія новаго дѣленія окружности въ старое.

Градусы.

g	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
00	0° 0'	0° 54'	1° 48'	2° 42'	3° 36'	4° 30'	5° 24'	6° 18'	7° 12'	8° 6'
10	9 0	9 54	10 48	11 42	12 36	13 30	14 24	15 18	16 12	17 6
20	18 0	18 54	19 48	20 42	21 36	22 30	23 24	24 18	25 12	26 6
30	27 0	27 54	28 48	29 42	30 36	31 30	32 24	33 18	34 12	35 6
40	36 0	36 54	37 48	38 42	39 36	40 30	41 24	42 18	43 12	44 6
50	45 0	45 54	46 48	47 42	48 36	49 30	50 24	51 18	52 12	53 6
60	54 0	54 54	55 48	56 42	57 36	58 30	59 24	60 18	61 12	62 6
70	63 0	63 54	64 48	65 42	66 36	67 30	68 24	69 18	70 12	71 6
80	72 0	72 54	73 48	74 42	75 36	76 30	77 24	78 18	79 12	80 6
90	81 0	81 54	82 48	83 42	84 36	85 30	86 24	87 18	88 12	89 6
100	90 0	90 54	91 48	92 42	93 36	94 30	95 24	96 18	97 12	98 6
110	99 0	99 54	100 48	101 42	102 36	103 30	104 24	105 18	106 12	107 6
120	108 0	108 54	109 48	110 42	111 36	112 30	113 24	114 18	115 12	116 6
130	117 0	117 54	118 48	119 42	120 36	121 30	122 24	123 18	124 12	125 6
140	126 0	126 54	127 48	128 42	129 36	130 30	131 24	132 18	133 12	134 6
150	135 0	135 54	136 48	137 42	138 36	139 30	140 24	141 18	142 12	143 6
160	144 0	144 54	145 48	146 42	147 36	148 30	149 24	150 18	151 12	152 6
170	153 0	153 54	154 48	155 42	156 36	157 30	158 24	159 18	160 12	161 6
180	162 0	162 54	163 48	164 42	165 36	166 30	167 24	168 18	169 12	170 6
190	171 0	171 54	172 48	173 42	174 36	175 30	176 24	177 18	178 12	179 6

Минуты.

g	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,00	0' 0,0"	0' 32,4"	1' 4,8"	1' 37,2"	2' 9,6"	2' 42,0"	3' 14,4"	3' 46,8"	4' 19,2"	4' 51,6"
0,10	5 24,0	5 56,4	6 28,8	7 1,2	7 33,6	8 6,0	8 38,4	9 10,8	9 43,2	10 15,6
0,20	10 48,0	11 20,4	11 52,8	12 25,2	12 57,6	13 30,0	14 2,4	14 34,8	15 7,2	15 39,6
0,30	16 12,0	16 44,4	17 16,8	17 49,2	18 21,6	18 54,0	19 26,4	19 58,8	20 31,2	21 3,6
0,40	21 36,0	22 8,4	22 40,8	23 13,2	23 45,6	24 18,0	24 50,4	25 22,8	25 55,2	26 27,6
0,50	27 0,0	27 32,4	28 4,8	29 37,2	29 9,6	29 42,0	30 14,4	30 46,8	31 19,2	31 51,6
0,60	32 24,0	32 56,4	33 28,8	34 1,2	34 33,6	35 6,0	35 38,4	36 10,8	36 43,2	37 15,6
0,70	37 48,0	38 20,4	38 52,8	39 25,2	39 57,6	40 30,0	41 2,4	41 34,8	42 7,2	42 39,6
0,80	43 12,0	43 44,4	44 16,8	45 49,2	45 21,6	45 54,0	46 26,4	46 58,8	47 31,2	48 3,6
0,90	48 36,0	49 8,4	49 40,8	50 13,2	50 45,6	51 18,0	51 50,4	52 22,8	52 55,2	53 27,6

Секунды.

g	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0000	0,000"	0,324"	0,648"	0,972"	1,296"	1,620"	1,944"	2,268"	2,592"	2,916"
10	3,240	3,564	3,888	4,212	4,536	4,860	5,184	5,508	5,832	6,156
20	6,480	6,804	7,128	7,452	7,776	8,100	8,424	8,748	9,072	9,396
30	9,720	10,044	10,368	10,692	11,016	11,340	11,664	11,988	12,312	12,636
40	12,960	13,284	13,608	13,932	14,256	14,580	14,904	15,228	15,552	15,876
50	16,200	16,524	16,848	17,172	17,496	17,820	18,144	18,468	18,792	19,116
60	19,440	19,764	20,088	20,412	20,736	21,060	21,384	21,708	22,032	22,356
70	22,680	23,004	23,328	23,652	23,976	24,300	24,624	24,948	25,272	25,596
80	25,920	26,244	26,568	26,892	27,216	27,540	27,864	28,188	28,512	28,836
0,00 90	29,160	29,484	29,808	30,132	30,456	30,780	31,104	31,428	31,752	32,076

0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9

0,0324" 0,0648" 0,0972" 0,1296" 0,1620" 0,1944" 0,2268" 0,2592" 0,2916"

## Таблица III

длинъ хордъ при радиусѣ, равномъ 1000.

Углы	0'	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'	50'	55'
0°	0	2	3	4	6	7	9	10	12	13	14	16
1	17	19	20	22	23	25	26	28	29	30	32	33
2	35	36	38	39	41	42	44	45	46	48	49	51
3	52	54	55	57	58	60	61	62	64	65	67	68
4	70	71	73	74	76	77	78	80	81	83	84	86
5	87	89	90	92	93	94	96	97	99	100	102	103
6	105	106	108	109	110	112	113	115	116	118	119	121
7	122	123	125	126	128	129	131	132	134	135	137	138
8	139	141	142	144	145	147	148	150	151	153	154	155
9	157	158	160	161	163	164	166	167	168	170	171	173
10	174	176	177	179	180	182	183	184	186	187	189	190
11	192	193	195	196	197	199	200	202	203	205	206	208
12	209	210	212	213	215	216	218	219	221	222	223	225
13	226	228	229	231	232	233	235	236	238	239	241	242
14	244	245	247	248	249	251	252	254	255	257	258	260
15	261	262	264	265	267	268	270	271	273	274	275	277
16	278	280	281	283	284	285	287	288	290	291	293	294
17	296	297	298	300	301	303	304	306	307	309	310	311
18	313	314	316	317	319	320	321	323	324	326	327	329
19	330	331	333	334	336	337	339	340	342	343	344	346
20	347	349	350	352	353	354	356	357	359	360	362	363
21	364	366	367	369	370	372	373	374	376	377	379	380
22	382	383	384	386	387	389	390	392	393	394	396	397
23	399	400	402	403	404	406	407	409	410	412	413	414
24	416	417	419	420	421	423	424	426	427	429	430	431
25	433	434	436	437	439	440	441	443	444	446	447	448
26	450	451	453	454	456	457	458	460	461	463	464	465
27	467	468	470	471	473	474	475	477	478	480	481	482
28	484	485	487	488	489	491	492	494	495	496	498	499
29	501	502	504	505	506	508	509	511	512	513	515	516
30	518	519	520	522	523	525	526	527	529	530	532	533
31	534	536	537	539	540	541	543	544	546	547	548	550
32	551	553	554	555	557	558	560	561	562	564	565	567
33	568	569	571	572	574	575	576	578	579	581	582	583
34	584	586	587	589	590	592	593	594	596	597	599	600
35	601	603	604	606	607	608	610	611	612	614	615	617
36	618	619	621	622	624	625	626	628	629	630	632	633
37	635	636	637	639	640	641	643	644	646	647	648	650
38	651	652	654	655	657	658	659	661	662	663	665	666
39	668	669	670	672	673	674	676	677	679	680	681	683
40	684	685	687	688	689	691	692	694	695	696	698	699
41	700	702	703	704	706	707	709	710	711	713	714	715
42	717	718	719	721	722	723	725	726	728	729	730	732
43	733	734	736	737	738	740	741	743	744	745	746	748
44	749	751	752	753	755	756	757	759	760	761	763	764



Углы	0'	5'	10'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'	50'	55'
45°	765	767	768	769	771	772	773	775	776	777	779	780
46	781	783	784	785	787	788	789	791	792	793	795	796
47	797	799	800	801	803	804	805	807	808	809	811	812
48	813	815	816	817	819	820	821	823	824	825	827	828
49	829	831	832	833	835	836	837	839	840	841	843	844
50	845	847	848	849	850	852	853	854	856	857	858	860
51	861	862	864	865	866	868	869	870	871	873	874	875
52	877	878	879	881	882	883	885	886	887	888	890	891
53	892	894	895	896	898	899	900	901	903	904	905	907
54	908	909	911	912	913	914	916	917	918	920	921	922
55	923	925	926	927	929	930	931	932	934	935	936	938
56	939	940	941	943	944	945	947	948	949	951	952	953
57	954	956	957	958	959	961	962	963	964	966	967	968
58	970	971	972	973	975	976	977	978	980	981	982	984
59	985	986	987	989	990	991	992	994	995	996	997	999
60	1000	1001	1002	1004	1005	1006	1007	1009	1010	1011	1013	1014
61	1015	1016	1018	1019	1020	1021	1023	1024	1025	1026	1028	1029
62	1030	1031	1033	1034	1035	1036	1037	1039	1040	1041	1042	1044
63	1045	1046	1047	1049	1050	1051	1052	1054	1055	1056	1057	1059
64	1060	1061	1062	1063	1065	1066	1067	1068	1070	1071	1072	1073
65	1075	1076	1077	1078	1079	1081	1082	1083	1084	1086	1087	1088
66	1089	1090	1092	1093	1094	1095	1097	1098	1099	1100	1101	1103
67	1104	1105	1106	1107	1109	1110	1111	1112	1114	1115	1116	1117
68	1118	1120	1121	1122	1123	1124	1126	1127	1128	1129	1130	1132
69	1133	1134	1135	1136	1138	1139	1140	1142	1143	1144	1145	1146
70	1147	1148	1149	1151	1152	1153	1154	1155	1157	1158	1159	1160
71	1161	1163	1164	1165	1166	1167	1168	1170	1171	1172	1173	1174
72	1176	1177	1178	1179	1180	1181	1183	1184	1185	1186	1187	1188
73	1190	1191	1192	1193	1194	1195	1197	1198	1199	1200	1201	1202
74	1204	1205	1206	1207	1208	1209	1211	1212	1213	1214	1215	1216
75	1217	1219	1220	1221	1222	1223	1224	1226	1227	1228	1229	1230
76	1231	1232	1234	1235	1236	1237	1238	1239	1240	1242	1243	1244
77	1245	1246	1247	1248	1250	1251	1252	1253	1254	1255	1256	1257
78	1259	1260	1261	1262	1263	1264	1265	1266	1268	1269	1270	1271
79	1272	1273	1274	1275	1277	1278	1279	1280	1281	1282	1283	1284
80	1286	1287	1288	1289	1290	1291	1292	1293	1294	1296	1297	1298
81	1299	1300	1301	1302	1303	1304	1305	1307	1308	1309	1310	1311
82	1312	1313	1314	1315	1316	1318	1319	1320	1321	1322	1323	1324
83	1325	1326	1327	1328	1330	1331	1332	1333	1334	1335	1336	1337
84	1338	1339	1340	1341	1343	1344	1345	1346	1347	1348	1349	1350
85	1351	1352	1353	1354	1355	1356	1358	1359	1360	1361	1362	1363
86	1364	1365	1366	1367	1368	1369	1370	1371	1372	1373	1375	1376
87	1377	1378	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388
88	1389	1390	1391	1392	1393	1394	1396	1397	1398	1399	1400	1401
89	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410	1411	1412	1413

## Таблица IV

поправокъ для наклонныхъ линий.

Уголъ наклон.	Наклонная длина $d$ .										Уголъ наклон.
	I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Поправка $x$ въ саженьяхъ.										
1°	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1°
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	2
3	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	3
4	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	4
5	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	5
6	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	6
7	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07	7
8	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	8
9	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06	0,07	0,09	0,10	0,11	0,12	9
10	0,02	0,03	0,05	0,06	0,08	0,09	0,11	0,12	0,14	0,15	10
11	0,02	0,04	0,06	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,18	11
12	0,02	0,04	0,07	0,09	0,11	0,13	0,15	0,17	0,20	0,22	12
13	0,03	0,05	0,08	0,10	0,13	0,15	0,18	0,21	0,23	0,26	13
14	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27	0,30	14
15	0,03	0,07	0,10	0,14	0,17	0,20	0,24	0,27	0,31	0,34	15
16	0,04	0,08	0,12	0,15	0,19	0,23	0,27	0,31	0,35	0,39	16
17	0,04	0,09	0,13	0,17	0,22	0,26	0,31	0,35	0,39	0,44	17
18	0,05	0,10	0,15	0,20	0,24	0,29	0,34	0,39	0,44	0,49	18
19	0,05	0,11	0,16	0,22	0,27	0,33	0,38	0,44	0,49	0,54	19
20	0,06	0,12	0,18	0,24	0,30	0,36	0,42	0,48	0,54	0,60	20
21	0,07	0,13	0,20	0,27	0,33	0,40	0,46	0,53	0,60	0,66	21
22	0,07	0,15	0,22	0,29	0,36	0,44	0,51	0,58	0,66	0,73	22
23	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,48	0,56	0,64	0,72	0,79	23
24	0,09	0,17	0,26	0,35	0,43	0,52	0,61	0,69	0,78	0,86	24
25	0,09	0,19	0,28	0,37	0,47	0,56	0,66	0,75	0,84	0,94	25
26	0,10	0,20	0,30	0,40	0,51	0,61	0,71	0,81	0,91	1,01	26
27	0,11	0,22	0,33	0,44	0,54	0,65	0,76	0,87	0,98	1,09	27
28	0,12	0,23	0,35	0,47	0,59	0,70	0,82	0,94	1,05	1,17	28
29	0,13	0,25	0,38	0,50	0,63	0,75	0,88	1,00	1,13	1,25	29
30	0,13	0,27	0,40	0,54	0,67	0,80	0,94	1,07	1,21	1,34	30
31	0,14	0,29	0,43	0,57	0,71	0,86	1,00	1,14	1,28	1,43	31
32	0,15	0,30	0,46	0,61	0,76	0,91	1,06	1,22	1,37	1,52	32
33	0,16	0,32	0,48	0,64	0,81	0,97	1,13	1,29	1,45	1,61	33
34	0,17	0,34	0,51	0,68	0,85	1,02	1,19	1,36	1,54	1,71	34
35	0,18	0,36	0,54	0,72	0,90	1,08	1,26	1,45	1,63	1,81	35
36	0,19	0,38	0,57	0,76	0,95	1,15	1,34	1,53	1,72	1,91	36
37	0,20	0,40	0,60	0,81	1,01	1,21	1,41	1,61	1,81	2,01	37
38	0,21	0,42	0,64	0,85	1,06	1,27	1,48	1,70	1,91	2,12	38
39	0,22	0,45	0,67	0,89	1,11	1,34	1,56	1,78	2,01	2,23	39
40	0,23	0,47	0,70	0,94	1,17	1,40	1,64	1,87	2,11	2,34	40
41	0,25	0,49	0,74	0,98	1,23	1,47	1,72	1,96	2,21	2,45	41
42	0,26	0,51	0,77	1,03	1,28	1,54	1,80	2,06	2,31	2,57	42
43	0,27	0,54	0,81	1,08	1,34	1,61	1,88	2,15	2,42	2,69	43
44	0,28	0,56	0,84	1,12	1,40	1,68	1,97	2,25	2,53	2,81	44
45	0,29	0,59	0,88	1,17	1,46	1,76	2,05	2,34	2,64	2,93	45

## Таблица V

наибольшей допускаемой разницы между двумя измѣреніями одной  
и той же линіи цѣпью.

Длина линіи.	I. Почва благо- приятная.	II. Почва средняя.	III. Почва неблаго- приятная.
100 <sup>c</sup>	0,42 <sup>c</sup>	0,52 <sup>c</sup>	0,60 <sup>c</sup>
200	0,64	0,78	0,90
300	0,82	1,00	1,14
400	0,98	1,20	1,38
500	1,14	1,40	1,62
600	1,30	1,58	1,84
700	1,44	1,78	2,04
800	1,60	1,96	2,26
900	1,74	2,14	2,48
1000	1,90	2,32	2,68
1100	2,04	2,50	2,90
1200	2,20	2,68	3,08
1300	2,34	2,86	3,32
1400	2,48	3,04	3,52
1500	2,62	3,22	3,72
1600	2,78	3,40	3,92
1700	2,92	3,56	4,12
1800	3,06	3,74	4,32
1900	3,20	3,92	4,52
2000	3,34	4,10	4,72
2100	3,48	4,28	4,92
2200	3,64	4,44	5,12
2300	3,78	4,64	5,32
2400	3,92	4,80	5,56
2500	4,06	4,96	5,76
2600	4,20	5,16	5,96
2700	4,34	5,32	6,16
2800	4,48	5,48	6,36
2900	4,64	5,68	6,56
3000	4,78	5,84	6,76
3100	4,92	6,04	6,96
3200	5,06	6,20	7,16
3300	5,20	6,36	7,36
3400	5,34	6,56	7,56
3500	5,48	6,72	7,76
3600	5,62	6,88	7,96
3700	5,78	7,08	8,16
3800	5,92	7,24	8,36
3900	5,06	7,40	8,56

## Таблица VI

поправокъ для дальномѣровъ Эртеля и Порро.

Уголъ наклоненія опт. оси трубы.	Отсчеты на рейкѣ.								Уголъ наклоненія опт. оси трубы.	Отсчеты на рейкѣ.							
	25	50	75	100	125	150	175	200		25	50	75	100	125	150	175	200
	Поправки въ саженьяхъ.									Поправки въ саженьяхъ.							
2°	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,2	0,2	0,2	28° 0'	5,5	11,0	16,5	22,0	27,5	33,1	38,6	44,1
3	0,07	0,14	0,21	0,27	0,34	0,4	0,5	0,6	30	5,7	11,4	17,1	22,7	28,5	34,2	39,8	45,5
4	0,12	0,2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1,0	29 0	5,9	11,8	17,6	23,5	29,4	35,3	41,2	47,0
5	0,19	0,4	0,6	0,8	0,9	1,1	1,3	1,5	30 0	6,1	12,1	18,2	24,2	30,3	36,4	42,4	48,5
6	0,3	0,5	0,8	1,1	1,4	1,6	1,9	2,2	30 0	6,3	12,5	18,7	25,0	31,2	37,5	43,7	50,0
7	0,4	0,7	1,1	1,5	1,8	2,2	2,6	3,0	30 0	6,4	12,9	19,3	25,8	32,2	38,6	45,1	51,5
8	0,5	1,0	1,5	1,9	2,4	2,9	3,4	3,9	31 0	6,6	13,3	19,9	26,5	33,2	39,8	46,4	53,1
9	0,6	1,2	1,8	2,5	3,1	3,7	4,3	4,9	30 0	6,8	13,7	20,5	27,3	34,1	41,0	47,8	54,6
10	0,8	1,5	2,3	3,0	3,8	4,5	5,3	6,0	32 0	7,0	14,0	21,1	28,1	35,1	42,1	49,1	56,2
11	0,9	1,8	2,7	3,6	4,6	5,5	6,4	7,3	30 0	7,2	14,4	21,7	28,9	36,1	43,3	50,5	57,7
12	1,1	2,2	3,2	4,3	5,4	6,5	7,6	8,6	33 0	7,4	14,8	22,2	29,7	37,1	44,5	51,9	59,3
13	1,3	2,5	3,8	5,1	6,3	7,6	8,8	10,1	30 0	7,6	15,2	22,8	30,5	38,1	45,7	53,3	60,9
14	1,5	2,9	4,4	5,8	7,3	8,8	10,2	11,7	34 0	7,8	15,6	23,4	31,3	39,1	46,9	54,7	62,5
15	1,7	3,4	5,0	6,7	8,4	10,1	11,7	13,4	30 0	8,0	16,0	24,1	32,1	40,1	48,1	56,1	64,2
16	1,9	3,8	5,7	7,6	9,5	11,4	13,3	15,2	35 0	8,2	16,5	24,7	32,9	41,1	49,4	57,6	65,8
17	2,1	4,3	6,4	8,6	10,7	12,8	15,0	17,1	30 0	8,5	16,9	25,3	33,7	42,2	50,6	59,0	67,5
18	2,4	4,8	7,2	9,5	11,9	14,3	16,7	19,1	36 0	8,6	17,3	25,9	34,5	43,2	51,8	60,5	69,1
19	2,6	5,3	8,0	10,6	13,3	15,9	18,6	21,2	30 0	8,8	17,7	26,6	35,4	44,2	53,1	61,9	70,8
20	2,9	5,9	8,8	11,7	14,6	17,6	20,5	23,4	37 0	9,1	18,1	27,2	36,2	45,3	54,3	63,4	72,4
21° 30'	3,1	6,1	9,2	12,3	15,3	18,4	21,5	24,5	30 0	9,3	18,5	27,8	37,1	46,3	55,6	64,8	74,1
21° 0'	3,2	6,4	9,6	12,8	16,1	19,3	22,5	25,7	38 0	9,5	19,0	28,4	37,9	47,4	56,8	66,3	75,8
30	3,4	6,7	10,1	13,4	16,8	20,2	23,5	26,9	30 0	9,7	19,4	29,1	38,8	48,4	58,1	67,8	77,5
22 0	3,5	7,0	10,5	14,0	17,6	21,0	24,6	28,1	39 0	9,9	19,8	29,7	39,6	49,5	59,4	69,3	79,2
30	3,7	7,3	10,9	14,6	18,3	21,9	25,6	29,2	40 0	10,1	20,2	30,4	40,5	50,6	60,7	70,8	80,9
23 0	3,8	7,6	11,5	15,3	19,1	22,9	26,7	30,5	30 0	10,3	20,7	31,0	41,3	51,7	62,0	72,3	82,6
30	4,0	7,9	11,9	15,9	19,9	23,8	27,8	31,8	30 0	10,5	21,1	31,6	42,2	52,7	63,3	73,8	84,3
24 0	4,1	8,3	12,4	16,6	20,7	24,8	29,0	33,1	41 0	10,8	21,5	32,3	43,1	53,8	64,6	75,3	86,1
30	4,3	8,6	12,9	17,2	21,5	25,8	30,1	34,4	30 0	11,0	22,0	32,9	43,9	54,9	65,9	76,9	87,8
25 0	4,5	8,9	13,3	17,8	22,3	26,8	31,2	35,7	42 0	11,2	22,4	33,6	44,8	56,0	67,2	78,3	89,5
30	4,6	9,3	13,9	18,5	23,1	27,8	32,4	37,2	30 0	11,4	22,8	34,2	45,6	57,1	68,5	79,9	91,3
26 0	4,8	9,6	14,4	19,2	24,0	28,8	33,6	38,4	43 0	11,6	23,3	34,9	46,5	58,2	69,8	81,4	93,0
30	5,0	9,9	14,9	19,9	24,9	29,9	34,9	39,8	30 0	11,8	23,7	35,5	47,4	59,2	71,1	82,9	94,8
27 0	5,2	10,3	15,4	20,6	25,8	30,9	36,1	41,3	44 0	12,1	24,1	36,2	48,3	60,3	72,4	84,5	96,5
30	5,3	10,7	16,0	21,3	26,6	32,0	37,3	42,6	30 0	12,3	24,6	36,9	49,1	61,4	73,7	86,0	98,3
									45 0	12,5	25,0	37,5	50,0	62,4	75,0	87,5	100,0

**Таблица VII**  
для дальномѣра Штампфера.

о — и.	Разстоя- нія.	Про- порц. части.	о — и.	Разстоя- нія.	Про- порц. части.	о — и.	Разстоя- нія.	Про- порц. части.
1,00	324,00		1,60	202,50		2,20	147,27	
1,01	320,79	0,29	1,61	201,21	0,12	2,21	146,61	0,06
1,02	317,65	0,59	1,62	200,00	0,24	2,22	145,95	0,13
1,03	314,56	0,88	1,63	198,77	0,36	2,23	145,29	0,19
1,04	311,54	1,18	1,64	197,56	0,48	2,24	144,64	0,26
1,05	308,57	1,47	1,65	196,36	0,60	2,25	144,00	0,32
1,06	305,66	1,76	1,66	195,18	0,71	2,26	143,36	0,38
1,07	302,80	2,06	1,67	194,01	0,83	2,27	142,73	0,45
1,08	300,00	2,35	1,68	192,86	0,95	2,28	142,10	0,51
1,09	297,25	2,65	1,69	191,72	1,07	2,29	141,49	0,58
1,10	294,54		1,70	190,59		2,30	140,87	
1,11	291,89	0,25	1,71	189,47	0,10	2,31	140,26	0,06
1,12	289,29	0,49	1,72	188,37	0,21	2,32	139,66	0,12
1,13	287,73	0,74	1,73	187,28	0,32	2,33	139,06	0,18
1,14	284,21	0,98	1,74	186,21	0,42	2,34	138,46	0,23
1,15	281,74	1,23	1,75	185,14	0,53	2,35	137,88	0,29
1,16	279,31	1,47	1,76	184,09	0,64	2,36	137,29	0,35
1,17	276,92	1,72	1,77	183,05	0,74	2,37	136,71	0,41
1,18	274,58	1,96	1,78	182,02	0,85	2,38	136,13	0,47
1,19	272,27	2,21	1,79	181,01	0,95	2,39	135,57	0,53
1,20	270,00		1,80	180,00		2,40	135,00	
1,21	267,77	0,21	1,81	179,01	0,09	2,41	134,44	0,05
1,22	265,58	0,42	1,82	178,02	0,19	2,42	133,88	0,11
1,23	263,42	0,62	1,83	177,05	0,28	2,43	133,34	0,16
1,24	261,29	0,83	1,84	176,09	0,38	2,44	132,79	0,22
1,25	259,20	1,04	1,85	175,14	0,47	2,45	132,25	0,27
1,26	257,14	1,25	1,86	174,19	0,57	2,46	131,71	0,32
1,27	255,12	1,45	1,87	173,26	0,66	2,47	131,18	0,38
1,28	253,13	1,66	1,88	172,34	0,76	2,48	130,64	0,43
1,29	251,16	1,87	1,89	171,43	0,85	2,49	130,12	0,49
1,30	249,23		1,90	170,53		2,50	129,60	
1,31	247,33	0,18	1,91	169,63	0,08	2,51	129,09	0,05
1,32	245,46	0,36	1,92	168,75	0,17	2,52	128,57	0,10
1,33	243,61	0,53	1,93	167,88	0,26	2,53	128,07	0,15
1,34	241,79	0,71	1,94	167,01	0,34	2,54	127,56	0,20
1,35	240,00	0,89	1,95	166,15	0,43	2,55	127,06	0,25
1,36	238,24	1,07	1,96	165,31	0,51	2,56	126,56	0,30
1,37	236,50	1,25	1,97	164,47	0,60	2,57	126,07	0,35
1,38	234,78	1,42	1,98	163,64	0,68	2,58	125,58	0,40
1,39	233,09	1,60	1,99	162,81	0,77	2,59	125,10	0,45
1,40	231,43		2,00	162,00		2,60	124,62	
1,41	229,79	0,15	2,01	161,18	0,08	2,61	124,14	0,05
1,42	228,17	0,31	2,02	160,20	0,15	2,62	123,66	0,09
1,43	226,57	0,46	2,03	159,61	0,23	2,63	123,20	0,14
1,44	225,00	0,62	2,04	158,82	0,31	2,64	122,73	0,18
1,45	223,45	0,77	2,05	158,05	0,39	2,65	122,27	0,23
1,46	221,92	0,93	2,06	157,28	0,46	2,66	121,80	0,28
1,47	220,41	1,08	2,07	156,53	0,54	2,67	121,35	0,32
1,48	218,92	1,23	2,08	155,77	0,62	2,68	120,90	0,37
1,49	217,45	1,39	2,09	155,03	0,69	2,69	120,45	0,42
1,50	216,00		2,10	154,28		2,70	120,00	
1,51	214,57	0,14	2,11	153,56	0,07	2,71	119,56	0,04
1,52	213,16	0,27	2,12	152,83	0,14	2,72	119,12	0,08
1,53	211,76	0,40	2,13	152,12	0,21	2,73	118,68	0,13
1,54	210,39	0,54	2,14	151,40	0,28	2,74	118,25	0,17
1,55	209,03	0,68	2,15	150,70	0,35	2,75	117,82	0,21
1,56	207,69	0,81	2,16	150,00	0,42	2,76	117,39	0,26
1,57	206,37	0,94	2,17	149,31	0,49	2,77	116,97	0,30
1,58	205,06	1,08	2,18	148,62	0,56	2,78	116,55	0,34
1,59	203,77	1,22	2,19	147,95	0,63	2,79	116,13	0,39

о — и.	Разстоя- нія.	Про- порц. части.	о — и.	Разстоя- нія.	Про- порц. части.	о — и.	Разстоя- нія.	Про- порц. части.
2,80	115,71		3,40	95,29		4,00	81,00	
2,81	115,53	0,04	3,41	95,02	0,03	4,01	80,79	0,02
2,82	114,89	0,08	3,42	94,74	0,05	4,02	80,59	0,04
2,83	114,49	0,12	3,43	94,46	0,08	4,03	80,39	0,06
2,84	114,08	0,16	3,44	94,19	0,11	4,04	80,20	0,08
2,85	113,69	0,20	3,45	93,91	0,14	4,05	80,00	0,10
2,86	113,29	0,24	3,46	93,64	0,16	4,06	79,80	0,12
2,87	112,89	0,28	3,47	93,37	0,19	4,07	79,61	0,14
2,88	112,50	0,32	3,48	93,10	0,22	4,08	79,41	0,16
2,89	112,11	0,36	3,49	92,84	0,24	4,09	79,22	0,18
2,90	111,42		3,50	92,57		4,10	79,03	
2,91	111,34	0,04	3,51	92,31	0,02	4,11	78,83	0,02
2,92	110,96	0,07	3,52	92,05	0,05	4,12	78,64	0,04
2,93	110,58	0,11	3,53	91,79	0,08	4,13	78,45	0,06
2,94	110,20	0,15	3,54	91,53	0,10	4,14	78,26	0,08
2,95	109,83	0,19	3,55	91,27	0,13	4,15	78,07	0,09
2,96	109,46	0,22	3,56	91,01	0,15	4,16	77,88	0,11
2,97	109,09	0,26	3,57	90,76	0,18	4,17	77,70	0,13
2,98	108,72	0,30	3,58	90,50	0,20	4,18	77,51	0,15
2,99	108,36	0,33	3,59	90,25	0,23	4,19	77,33	0,17
3,00	108,00		3,60	90,00		4,20	77,14	
3,01	107,64	0,03	3,61	89,75	0,02	4,21	76,96	0,02
3,02	107,28	0,07	3,62	89,50	0,05	4,22	76,78	0,04
3,03	106,93	0,10	3,63	89,26	0,07	4,23	76,60	0,05
3,04	106,58	0,14	3,64	89,01	0,09	4,24	76,42	0,07
3,05	106,23	0,17	3,65	88,77	0,12	4,25	76,24	0,09
3,06	105,88	0,21	3,66	88,52	0,14	4,26	76,06	0,10
3,07	105,54	0,24	3,67	88,28	0,17	4,27	75,88	0,12
3,08	105,20	0,28	3,68	88,04	0,19	4,28	75,70	0,14
3,09	104,86	0,31	3,69	87,81	0,22	4,29	75,53	0,16
3,10	104,52		3,70	87,57		4,30	75,35	
3,11	104,18	0,03	3,71	87,33	0,02	4,31	75,18	0,02
3,12	103,85	0,06	3,72	87,10	0,05	4,32	75,00	0,03
3,13	103,52	0,10	3,73	86,86	0,07	4,33	74,83	0,05
3,14	103,18	0,13	3,74	86,63	0,09	4,34	74,66	0,07
3,15	102,86	0,16	3,75	86,40	0,12	4,35	74,48	0,08
3,16	102,53	0,20	3,76	86,17	0,14	4,36	74,31	0,10
3,17	102,21	0,23	3,77	85,94	0,16	4,37	74,14	0,12
3,18	101,89	0,26	3,78	85,71	0,18	4,38	73,97	0,14
3,19	101,57	0,29	3,79	85,49	0,21	4,39	73,80	0,15
3,20	101,25		3,80	85,26		4,40	73,64	
3,21	100,94	0,03	3,81	85,04	0,02	4,41	73,47	0,02
3,22	100,62	0,06	3,82	84,82	0,04	4,42	73,30	0,03
3,23	100,31	0,09	3,83	84,60	0,06	4,43	73,14	0,05
3,24	100,00	0,12	3,84	84,38	0,09	4,44	72,97	0,06
3,25	99,69	0,15	3,85	84,16	0,11	4,45	72,81	0,08
3,26	99,39	0,18	3,86	83,94	0,13	4,46	72,65	0,10
3,27	99,08	0,21	3,87	83,72	0,15	4,47	72,49	0,11
3,28	98,78	0,24	3,88	83,50	0,17	4,48	72,32	0,13
3,29	98,48	0,28	3,89	83,29	0,20	4,49	72,16	0,15
3,30	98,18		3,90	83,08		4,50	72,00	
3,31	97,89	0,03	3,91	82,86	0,02	4,51	71,84	0,02
3,32	97,59	0,06	3,92	82,65	0,04	4,52	71,68	0,03
3,33	97,30	0,09	3,93	82,44	0,06	4,53	71,52	0,05
3,34	97,01	0,12	3,94	82,23	0,08	4,54	71,36	0,06
3,35	96,72	0,14	3,95	82,03	0,10	4,55	71,21	0,08
3,36	96,43	0,17	3,96	81,82	0,12	4,56	71,05	0,09
3,37	96,14	0,20	3,97	81,61	0,14	4,57	70,90	0,11
3,38	95,86	0,23	3,98	81,41	0,17	4,58	70,74	0,12
3,39	95,58	0,26	3,99	81,20	0,19	4,59	70,59	0,14

о — и.	Разстоя- нія.	Про- порц. части.	о — и.	Разстоя- нія.	Про- порц. части.	о — и.	Разстоя- нія.	Про- порц. части.
4,60	70,44		5,20	62,31		5,80	55,86	
4,61	70,28	0,02	5,21	62,19	0,01	5,81	55,76	0,01
4,62	70,13	0,03	5,22	62,07	0,02	5,82	55,67	0,02
4,63	69,98	0,04	5,23	61,95	0,04	5,83	55,57	0,03
4,64	69,83	0,06	5,24	61,83	0,05	5,84	55,48	0,04
4,65	69,68	0,08	5,25	61,72	0,06	5,85	55,38	0,05
4,66	69,53	0,09	5,26	61,60	0,07	5,86	55,29	0,06
4,67	69,38	0,10	5,27	61,48	0,08	5,87	55,20	0,07
4,68	69,23	0,12	5,28	61,36	0,09	5,88	55,10	0,08
4,69	69,08	0,14	5,29	61,25	0,11	5,89	55,01	0,08
4,70	68,94		5,30	61,13		5,90	54,92	
4,71	68,79	0,01	5,31	61,02	0,01	5,91	54,82	0,01
4,72	68,64	0,03	5,32	60,90	0,02	5,92	54,73	0,02
4,73	68,50	0,04	5,33	60,79	0,03	5,93	54,64	0,03
4,74	68,36	0,06	5,34	60,68	0,04	5,94	54,55	0,04
4,75	68,21	0,07	5,35	60,56	0,06	5,95	54,45	0,05
4,76	68,07	0,09	5,36	60,45	0,07	5,96	54,36	0,06
4,77	67,93	0,10	5,37	60,34	0,08	5,97	54,27	0,06
4,78	67,78	0,12	5,38	60,22	0,09	5,98	54,18	0,07
4,79	67,64	0,13	5,39	60,11	0,10	5,99	54,09	0,08
4,80	67,50		5,40	60,00		6,00	54,00	
4,81	67,36	0,01	5,41	59,89	0,01	6,01	53,91	0,01
4,82	67,22	0,03	5,42	59,78	0,02	6,02	53,82	0,02
4,83	67,08	0,04	5,43	59,67	0,03	6,03	53,73	0,03
4,84	66,94	0,06	5,44	59,56	0,04	6,04	53,64	0,04
4,85	66,80	0,07	5,45	59,45	0,05	6,05	53,55	0,04
4,86	66,67	0,08	5,46	59,34	0,06	6,06	53,47	0,05
4,87	66,53	0,10	5,47	59,23	0,08	6,07	53,37	0,06
4,88	66,39	0,11	5,48	59,12	0,09	6,08	53,29	0,07
4,89	66,26	0,12	5,49	59,02	0,10	6,09	53,20	0,08
4,90	66,12		5,50	58,91		6,10	53,12	
4,91	65,99	0,01	5,51	58,80	0,01	6,11	53,03	0,01
4,92	65,85	0,03	5,52	58,70	0,02	6,12	52,94	0,02
4,93	65,72	0,04	5,53	58,59	0,03	6,13	52,86	0,02
4,94	65,59	0,05	5,54	58,48	0,04	6,14	52,77	0,03
4,95	65,46	0,07	5,55	58,38	0,05	6,15	52,68	0,04
4,96	65,32	0,08	5,56	58,27	0,06	6,16	52,60	0,05
4,97	65,19	0,09	5,57	58,17	0,07	6,17	52,51	0,06
4,98	65,06	0,10	5,58	58,06	0,08	6,18	52,43	0,07
4,99	64,93	0,12	5,59	57,96	0,09	6,19	52,34	0,08
5,00	64,80		5,60	57,86		6,20	52,26	
5,01	64,67	0,01	5,61	57,75	0,01	6,21	52,17	0,01
5,02	64,54	0,02	5,62	57,65	0,02	6,22	52,09	0,02
5,03	64,41	0,04	5,63	57,55	0,03	6,23	52,01	0,02
5,04	64,29	0,05	5,64	57,45	0,04	6,24	51,92	0,03
5,05	64,16	0,06	5,65	57,35	0,05	6,25	51,84	0,04
5,06	64,03	0,08	5,66	57,24	0,06	6,26	51,76	0,05
5,07	63,91	0,09	5,67	57,14	0,07	6,27	51,68	0,06
5,08	63,78	0,10	5,68	57,04	0,08	6,28	51,59	0,07
5,09	63,66	0,11	5,69	56,94	0,09	6,29	51,51	0,07
5,10	63,53		5,70	56,84		6,30	51,43	
5,11	63,41	0,01	5,71	56,74	0,01	6,31	51,35	0,01
5,12	63,28	0,02	5,72	56,64	0,02	6,32	51,27	0,02
5,13	63,16	0,04	5,73	56,54	0,03	6,33	51,18	0,02
5,14	63,04	0,05	5,74	56,45	0,04	6,34	51,10	0,03
5,15	62,91	0,06	5,75	56,35	0,05	6,35	51,02	0,04
5,16	62,79	0,07	5,76	56,25	0,06	6,36	50,94	0,05
5,17	62,67	0,08	5,77	56,15	0,07	6,37	50,86	0,06
5,18	62,55	0,10	5,78	56,06	0,08	6,38	50,78	0,06
5,19	62,43	0,11	5,79	55,96	0,09	6,39	50,70	0,07

о — и.	Разстоя- нія.	Про- порц. части.	о — и.	Разстоя- нія.	Про- порц. части.	о — и.	Разстоя- нія.	Про- порц. части.
6,40	50,62		7,00	46,29		7,60	42,63	
6,41	50,55	0,01	7,01	46,22	0,01	7,61	42,58	0,00
6,42	50,47	0,02	7,02	46,15	0,01	7,62	42,52	0,01
6,43	50,39	0,02	7,03	46,09	0,02	7,63	42,46	0,02
6,44	50,31	0,03	7,04	46,02	0,03	7,64	42,41	0,02
6,45	50,23	0,04	7,05	45,96	0,03	7,65	42,35	0,03
6,46	50,16	0,05	7,06	45,89	0,04	7,66	42,30	0,03
6,47	50,08	0,05	7,07	45,84	0,05	7,67	42,24	0,04
6,48	50,00	0,06	7,08	45,76	0,05	7,68	42,19	0,04
6,49	49,92	0,07	7,09	45,70	0,06	7,69	42,13	0,05
6,50	49,85		7,10	45,63		7,70	42,08	
6,51	49,77	0,01	7,11	45,57	0,01	7,71	42,02	0,00
6,52	49,69	0,02	7,12	45,51	0,01	7,72	41,97	0,01
6,53	49,62	0,02	7,13	45,44	0,02	7,73	41,91	0,02
6,54	49,54	0,03	7,14	45,38	0,02	7,74	41,86	0,02
6,55	49,47	0,04	7,15	45,32	0,03	7,75	41,81	0,03
6,56	49,39	0,04	7,16	45,25	0,04	7,76	41,75	0,03
6,57	49,32	0,05	7,17	45,19	0,04	7,77	41,70	0,04
6,58	49,24	0,06	7,18	45,13	0,05	7,78	41,65	0,04
6,59	49,16	0,07	7,19	45,06	0,06	7,79	41,59	0,05
6,60	49,09		7,20	45,00		7,80	41,54	
6,61	49,02	0,01	7,21	44,94	0,01	7,81	41,48	0,00
6,62	48,94	0,01	7,22	44,88	0,01	7,82	41,43	0,01
6,63	48,87	0,02	7,23	44,81	0,02	7,83	41,38	0,02
6,64	48,79	0,03	7,24	44,75	0,02	7,84	41,33	0,02
6,65	48,72	0,04	7,25	44,69	0,03	7,85	41,27	0,03
6,66	48,65	0,04	7,26	44,63	0,04	7,86	41,22	0,03
6,67	48,58	0,05	7,27	44,56	0,04	7,87	41,17	0,04
6,68	48,50	0,06	7,28	44,51	0,05	7,88	41,12	0,04
6,69	48,43	0,06	7,29	44,44	0,06	7,89	41,06	0,05
6,70	48,36		7,30	44,38		7,90	41,01	
6,71	48,29	0,01	7,31	44,32	0,01	7,91	40,96	0,00
6,72	48,21	0,01	7,32	44,26	0,01	7,92	40,91	0,01
6,73	48,14	0,02	7,33	44,20	0,02	7,93	40,86	0,01
6,74	48,07	0,03	7,34	44,14	0,02	7,94	40,81	0,02
6,75	48,00	0,04	7,35	44,08	0,03	7,95	40,76	0,02
6,76	47,93	0,04	7,36	44,02	0,04	7,96	40,70	0,03
6,77	47,86	0,05	7,37	43,96	0,04	7,97	40,65	0,03
6,78	47,79	0,06	7,38	43,90	0,05	7,98	40,60	0,04
6,79	47,72	0,06	7,39	43,84	0,05	7,99	40,55	0,05
6,80	47,65		7,40	43,78		8,00	40,50	
6,81	47,58	0,01	7,41	43,72	0,01	8,01	40,45	0,00
6,82	47,51	0,01	7,42	43,67	0,01	8,02	40,40	0,01
6,83	47,44	0,02	7,43	43,61	0,02	8,03	40,34	0,01
6,84	47,37	0,03	7,44	43,55	0,02	8,04	40,29	0,02
6,85	47,30	0,03	7,45	43,49	0,03	8,05	40,25	0,02
6,86	47,23	0,04	7,46	43,43	0,03	8,06	40,20	0,03
6,87	47,16	0,05	7,47	43,37	0,04	8,07	40,15	0,03
6,88	47,09	0,06	7,48	43,32	0,05	8,08	40,10	0,04
6,89	47,02	0,06	7,49	43,25	0,05	8,09	40,05	0,04
6,90	46,96		7,50	43,20		8,10	40,00	
6,91	46,89	0,01	7,51	43,14	0,00	8,11	39,95	0,00
6,92	46,82	0,01	7,52	43,08	0,01	8,12	39,90	0,01
6,93	46,75	0,02	7,53	43,03	0,02	8,13	39,85	0,01
6,94	46,69	0,03	7,54	42,97	0,02	8,14	39,80	0,02
6,95	46,62	0,03	7,55	42,91	0,03	8,15	39,75	0,02
6,96	46,55	0,04	7,56	42,86	0,03	8,16	39,71	0,03
6,97	46,48	0,05	7,57	42,80	0,04	8,17	39,66	0,03
6,98	46,42	0,05	7,58	42,74	0,04	8,18	39,61	0,04
6,99	46,35	0,06	7,59	42,69	0,05	8,19	39,56	0,04



о — и.	Разстоя- нія.	Про- порц. части.	о — и.	Разстоя- нія.	Про- порц. части.	о — и.	Разстоя- нія.	Про- порц. части.
8,20	39,51		8,80	36,82		9,40	34,47	
8,21	39,46	0,00	8,81	36,78	0,00	9,41	34,43	0,00
8,22	39,42	0,01	8,82	36,74	0,01	9,42	34,40	0,01
8,23	39,37	0,01	8,83	36,69	0,01	9,43	34,36	0,01
8,24	39,32	0,02	8,84	36,65	0,02	9,44	34,32	0,01
8,25	39,27	0,02	8,85	36,61	0,02	9,45	34,29	0,02
8,26	39,23	0,03	8,86	36,57	0,02	9,46	34,25	0,02
8,27	39,18	0,03	8,87	36,53	0,03	9,47	34,21	0,02
8,28	39,13	0,04	8,88	36,49	0,03	9,48	34,18	0,03
8,29	39,08	0,04	8,89	36,45	0,04	9,49	34,15	0,03
8,30	39,04		8,90	36,40		9,50	34,11	
8,31	38,99	0,00	8,91	36,36	0,00	9,51	34,07	0,00
8,32	38,94	0,01	8,92	36,32	0,01	9,52	34,03	0,01
8,33	38,90	0,01	8,93	36,28	0,01	9,53	34,00	0,01
8,34	38,85	0,02	8,94	36,24	0,02	9,54	33,96	0,01
8,35	38,80	0,02	8,95	36,20	0,02	9,55	33,93	0,02
8,36	38,76	0,03	8,96	36,16	0,02	9,56	33,89	0,02
8,37	38,71	0,03	8,97	36,12	0,03	9,57	33,86	0,02
8,38	38,66	0,04	8,98	36,08	0,03	9,58	33,82	0,03
8,39	38,62	0,04	8,99	36,04	0,04	9,59	33,79	0,03
8,40	38,57		9,00	36,00		9,60	33,75	
8,41	38,53	0,00	9,01	35,96	0,00	9,61	33,72	0,00
8,42	38,48	0,01	9,02	35,92	0,01	9,62	33,68	0,01
8,43	38,43	0,01	9,03	35,88	0,01	9,63	33,64	0,01
8,44	38,39	0,02	9,04	35,84	0,02	9,64	33,61	0,01
8,45	38,34	0,02	9,05	35,80	0,02	9,65	33,58	0,02
8,46	38,30	0,03	9,06	35,76	0,02	9,66	33,54	0,02
8,47	38,25	0,03	9,07	35,72	0,03	9,67	33,52	0,02
8,48	38,20	0,04	9,08	35,68	0,03	9,68	33,47	0,03
8,49	38,16	0,04	9,09	35,64	0,03	9,69	33,44	0,03
8,50	38,12		9,10	35,60		9,70	33,40	
8,51	38,07	0,00	9,11	35,56	0,00	9,71	33,37	0,00
8,52	38,03	0,01	9,12	35,53	0,01	9,72	33,33	0,01
8,53	37,98	0,01	9,13	35,49	0,01	9,73	33,31	0,01
8,54	37,94	0,02	9,14	35,45	0,01	9,74	33,27	0,01
8,55	37,89	0,02	9,15	35,41	0,02	9,75	33,23	0,02
8,56	37,85	0,03	9,16	35,37	0,02	9,76	33,20	0,02
8,57	37,81	0,03	9,17	35,33	0,02	9,77	33,16	0,02
8,58	37,76	0,04	9,18	35,29	0,03	9,78	33,13	0,03
8,59	37,72	0,04	9,19	35,26	0,03	9,79	33,10	0,03
8,60	37,68		9,20	35,22		9,80	33,06	
8,61	37,63	0,00	9,21	35,18	0,00	9,81	33,03	0,00
8,62	37,59	0,01	9,22	35,14	0,01	9,82	32,99	0,01
8,63	37,54	0,01	9,23	35,10	0,01	9,83	32,96	0,01
8,64	37,50	0,02	9,24	35,07	0,01	9,84	32,93	0,01
8,65	37,46	0,02	9,25	35,03	0,02	9,85	32,89	0,02
8,66	37,41	0,03	9,26	34,99	0,02	9,86	32,86	0,02
8,67	37,37	0,03	9,27	34,95	0,02	9,87	32,83	0,02
8,68	37,33	0,04	9,28	34,91	0,03	9,88	32,79	0,03
8,69	37,28	0,04	9,29	34,88	0,03	9,89	32,76	0,03
8,70	37,24		9,30	34,84		9,90	32,73	
8,71	37,20	0,00	9,31	34,80	0,00	9,91	32,69	0,00
8,72	37,16	0,01	9,32	34,76	0,01	9,92	32,66	0,01
8,73	37,11	0,01	9,33	34,73	0,01	9,93	32,63	0,01
8,74	37,07	0,02	9,34	34,69	0,01	9,94	32,60	0,01
8,75	37,03	0,02	9,35	34,65	0,02	9,95	32,56	0,02
8,76	36,99	0,02	9,36	34,62	0,02	9,96	32,53	0,02
8,77	36,94	0,03	9,37	34,58	0,02	9,97	32,50	0,02
8,78	36,90	0,03	9,38	34,54	0,03	9,98	32,46	0,03
8,79	36,86	0,04	9,39	34,51	0,03	9,99	32,43	0,03

## Таблица VIII

ДЛЯ ВЫСОТЪ ПУНКТОВЪ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ.

Разстоянія въ сажень.		100	200	300	400	500	600	700	800	900	
		ВЫСОТЫ ВЪ САЖЕНЯХЪ.									
Углы наклоненія.											
0°	1'	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,17	0,20	0,25	0,26	
	2	0,06	0,12	0,17	0,23	0,29	0,35	0,41	0,47	0,52	
	3	0,09	0,17	0,26	0,35	0,44	0,62	0,61	0,70	0,79	
	4	0,12	0,23	0,35	0,47	0,58	0,70	0,81	0,93	1,05	
0°	5'	0,15	0,29	0,44	0,58	0,75	0,87	1,02	1,16	1,31	
	6	0,17	0,35	0,52	0,70	0,87	1,05	1,22	1,40	1,57	
	7	0,20	0,41	0,61	0,81	1,02	1,22	1,43	1,63	1,83	
	8	0,23	0,47	0,70	0,93	1,16	1,40	1,63	1,86	2,09	
	9	0,26	0,52	0,79	1,05	1,31	1,57	1,83	2,09	2,36	
0°	10'	0,29	0,59	0,87	1,16	1,46	1,74	2,04	2,33	2,61	
	20	0,58	1,16	1,74	2,33	2,91	3,49	4,07	4,67	5,23	
	30	0,87	1,74	2,61	3,49	4,36	5,24	6,11	6,99	7,86	
	40	1,16	2,33	3,49	4,65	5,81	6,99	8,14	9,31	10,47	
	50	1,46	2,91	4,36	5,81	7,27	8,73	10,18	11,63	13,09	
1°	0'	1,75	3,49	5,24	6,98	8,73	10,47	12,22	13,96	15,71	
	10	2,04	4,07	6,11	8,14	10,19	12,21	14,26	16,29	18,33	
	20	2,33	4,65	6,99	9,31	11,64	13,96	16,29	18,61	20,95	
	30	2,62	5,23	7,86	10,47	13,09	15,71	18,33	20,94	23,57	
	40	2,91	5,81	8,73	11,64	14,54	17,46	20,37	23,28	26,19	
	50	3,20	6,40	9,60	12,80	16,00	19,20	22,41	25,61	28,81	
2°	0'	3,49	6,99	10,47	13,97	17,46	20,95	24,44	27,93	31,43	
	10	3,79	7,57	11,34	15,13	18,91	22,70	26,49	30,26	34,05	
	20	4,08	8,14	12,22	16,30	20,37	24,44	28,53	32,60	36,67	
	30	4,37	8,73	13,10	17,46	21,83	26,19	30,56	34,93	39,29	
	40	4,66	9,31	13,97	18,62	23,29	27,94	32,60	37,26	41,91	
	50	4,95	9,90	14,84	19,79	24,74	29,69	34,64	39,59	44,54	
3°	0'	5,24	10,49	15,72	20,95	26,20	31,44	36,69	41,92	47,17	
	10	5,53	11,07	16,60	22,13	27,66	33,19	38,73	44,26	49,79	
	20	5,82	11,65	17,47	23,30	29,13	34,94	40,77	46,60	52,41	
	30	6,11	12,23	18,34	24,46	30,59	36,70	42,81	48,93	55,04	
	40	6,41	12,81	19,22	25,62	32,04	38,45	44,86	51,27	57,67	
	50	6,70	13,40	20,10	26,80	33,50	40,20	46,90	53,60	60,30	
4°	0'	6,99	13,99	20,96	27,97	34,95	41,95	48,94	55,94	62,93	
	10	7,28	14,57	21,86	29,14	36,43	43,71	51,00	58,29	65,57	
	20	7,57	15,16	22,73	30,32	37,89	45,46	53,04	60,61	68,20	
	30	7,87	15,75	23,61	31,49	39,36	47,21	55,09	62,96	70,83	
	40	8,16	16,33	24,49	32,66	40,83	48,97	57,14	65,30	73,47	
	50	8,46	16,91	25,37	33,83	42,29	50,73	59,19	67,64	76,10	
5°	0'	8,74	17,50	26,25	35,00	43,74	52,49	61,24	69,99	78,74	
	10	9,04	18,09	27,13	36,17	45,21	54,26	63,29	72,33	81,37	
	20	9,32	18,67	28,00	37,34	46,67	56,01	65,34	74,69	84,01	
	30	9,63	19,26	28,89	38,51	48,14	57,77	67,40	77,03	86,66	
	40	9,93	19,84	29,77	39,69	49,61	59,54	69,46	79,39	89,30	
	50	10,21	20,43	30,65	40,86	51,09	61,30	71,51	81,73	91,34	

Разстоянія въ сажен.	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Углы наклоненія.	В Ы С О Т Ы   В Ъ   С А Ж Е Н Я Х Ъ .								
6° 0'	10,51	21,01	31,53	42,04	52,57	63,06	73,57	84,09	94,59
10	10,80	21,61	32,41	43,21	54,03	64,83	75,63	86,43	97,24
20	11,10	22,20	33,30	44,40	55,50	66,59	77,69	88,79	99,89
30	11,40	22,79	34,19	45,57	56,97	68,36	79,76	91,14	102,54
40	11,68	23,37	35,07	46,76	58,44	70,13	81,83	93,50	105,20
50	11,98	23,97	35,94	47,93	59,91	71,90	83,89	95,86	107,84
7° 0'	12,27	24,56	36,83	49,11	61,39	73,67	85,94	98,23	110,50
10	12,57	25,14	37,71	50,30	62,87	75,44	88,01	100,59	113,17
20	12,87	25,74	38,61	51,47	64,34	77,21	90,09	102,96	115,83
30	13,17	26,33	39,50	52,66	65,83	79,00	92,16	105,33	118,49
40	13,46	26,93	40,39	53,84	67,31	80,77	94,23	107,69	121,16
50	13,76	27,51	41,27	55,03	68,79	82,54	96,30	110,06	123,83
8° 0'	14,06	28,11	42,16	56,21	70,27	84,32	98,39	112,43	126,49
10	14,36	28,70	43,06	57,40	71,76	86,10	100,46	114,80	129,16
20	14,64	29,30	43,94	58,59	73,24	87,89	102,53	117,17	131,83
30	14,94	29,89	44,84	59,79	74,73	89,67	104,61	119,56	134,51
40	15,24	30,49	45,73	60,97	76,21	91,46	106,70	121,94	137,19
50	15,54	31,09	46,61	62,16	77,70	93,24	108,79	124,33	139,86
9° 0'	15,84	31,67	47,51	63,36	79,20	95,03	110,87	126,71	142,54
10	16,14	32,27	48,41	64,54	80,69	96,82	112,96	129,10	145,23
20	16,43	32,87	49,30	65,74	82,17	98,61	115,04	131,49	147,91
30	16,73	33,47	50,20	66,94	83,67	100,40	117,14	133,87	150,61
40	17,03	34,07	51,10	68,13	85,17	102,20	119,23	136,26	153,30
50	17,33	34,67	52,00	69,33	86,67	104,00	121,33	138,66	156,00
10° 0'	17,63	35,27	52,90	70,53	88,17	105,80	123,43	141,06	158,70

