

Исследуем со школьниками: поверхностные явления и адсорбционные процессы

*И. С. Борисевич, старший преподаватель кафедры химии,
Е. Я. Аршанский, профессор кафедры химии Витебского государственного университета
имени П. М. Машерова, доктор педагогических наук*

Сегодня перед учителями ставится задача организации исследовательской работы школьников. Руководство научно-исследовательской деятельностью является перспективным направлением в работе современного учителя химии. Вовлечение учащихся в исследовательскую деятельность позволяет научить их самостоятельно мыслить, ставить цель и искать пути её осуществления, проводить эксперимент и объяснять полученные результаты, делать выводы и докладывать результаты своих исследований. В настоящее время сложилась и успешно действует практика организации научно-практических конференций учащихся, на которых юные исследователи выступают с сообщениями о результатах исследовательской работы, выполненной под руководством учителей и преподавателей вузов. Организация и дальнейшее развитие научно-исследовательской работы школьников — одна из перспективных форм работы с одарёнными учащимися [1].

Однако практика показывает, что учителя испытывают затруднения с выбором объекта и предмета исследования. Особые возможности для организации исследовательской деятельности школьников при изучении химии представляет физическая и коллоидная химия. Отдельные вопросы этой дисциплины, изучаемые в школьном курсе, например связанные с поверхностными явлениями и адсорбционными процессами, могут более глубоко рассматриваться во внеклассной работе и при организации научно-исследовательской деятельности школьников по химии. Это способствует углублению знаний учащихся по химии, формированию познавательного интереса к предмету и установлению прямой и обратной связей в системе «урок — внеклассная работа — исследовательская деятельность школьников».

Поверхностные явления чрезвычайно широко распространены в природе, так как живые организмы представляют собой системы с развитыми поверхностями раздела (кожные покровы, стенки кровеносных сосудов и нервных окончаний, клеточные мембраны и др.). Сорбционные процессы, относящиеся к поверхностным явлениям, играют значительную роль в технологических процессах, реакциях гетерогенного катализа и лежат в основе хроматографии — физико-химического метода анализа и разделения смесей. Сорбенты с высокоразвитой удельной поверхностью находят применение в процессах очистки газовоздушных смесей и сточных вод от загрязняющих веществ перед выбросом их в атмосферу и гидросферу соответственно.

Сорбенты, используемые в медицине для наружного применения (тальк, крахмал), обладают подсушивающим действием и ускоряют заживление ран. Сорбенты для внутреннего применения (активированный уголь, смекта, полифенан) поглощают вредные вещества, поступившие в организм или выделившиеся в процессе пищеварения. Универсальным сорбентом, поглощающим шлаки, токсины, тяжёлые металлы, радионуклиды, токсичные продукты обмена и распада клеток, является косметическая глина. Синтетические сорбенты идеальны для сбора разлитой на воде нефти. Они используются для поглощения паров воды и глубокой осушки, устранения неприятных запахов и др. Этот далеко неполный перечень примеров использования процессов, протекающих на границе раздела фаз, убеждает нас в том, что в школьном курсе химии следует уделять внимание изучению поверхностных явлений и сорбционных процессов.

Возможности изучения вопросов о поверхностных явлениях и адсорбции в школьном курсе химии

Программой учебного предмета «Химия» не предусмотрена отдельная тема, в которой изучались бы данные вопросы. Поверхностно-активным веществам (ПАВ) и синтетическим моющим средствам (СМС), в состав которых входят ПАВ, уделяется внимание при изучении жиров и сложных эфиров. Здесь же проводятся лабораторные опыты «Действие мыла и синтетических моющих средств в жёсткой воде» и «Сравнение свойств мыла и СМС».

При изучении углерода и кремния говорится о способности древесного угля концентрировать на своей поверхности (адсорбировать) пары, газы и вещества из жидких растворов. Объясняется это тем, что он имеет очень большую поверхность. В общем виде приводится информация по использованию сорбционных свойств угля в противогазах, на химическом производстве для улавливания растворителей, для обесцвечивания и очистки сахарного сиропа, масла, жиров, питьевой воды, а также в медицине. Акцентируется внимание на производстве углеродного медицинского сорбента Светлогорским производственным объединением «Химволокно» для лечения ран, язв, ожогов, использования в бытовых фильтрах для воды, фильтрах в медицинской и пищевой промышленности и др.

Программой предусмотрен демонстрационный опыт: адсорбционные свойства активированного угля, поглощение им растворённых или газообразных веществ. Во время проведения опыта в стакан с раствором лакмуса помещается истолчённый древесный уголь и выдерживается некоторое время. Жидкость обесцвечивается, так как уголь поглощает рас-

творённое вещество. Из приведённого материала следует, что способность активированного угля к адсорбции констатируется, а не объясняется.

Аналогичные исследования предлагается провести в домашнем эксперименте по изучению адсорбционных свойств активированного угля и силикагеля. Домашний химический эксперимент представляет собой особый вид самостоятельной работы учащихся и средство развития их познавательных интересов. В нашем случае домашний эксперимент во многом дублирует демонстрационный опыт. Чтобы убедиться в этом, рассмотрим предлагаемый материал подробнее.

Учащиеся наливают в стаканы окрашенные жидкости: чай, компот, раствор синьки для белья, раствор, приготовленный из нескольких капель зелёнки в воде. В каждый раствор помещают одинаковое количество активированного угля или силикагеля и оставляют на некоторое время. В наблюдениях следует отметить, как изменится окраска взятых растворов. Следует объяснить, на какое свойство угля или силикагеля указывает изменение окраски.

Далее берут две одинаковые банки с плотными крышками. В каждую помещают немного пахучей жидкости (например, одеколона). В одну из банок добавляют несколько гранул силикагеля, закрывают банки крышками и через 4-5 часов сравнивают запах в обеих банках. Приходят к выводу, что силикагель поглощает не только окрашенные вещества из раствора, но и адсорбирует газообразные вещества, устраняя запахи.

Дидактические возможности изучения поверхностных явлений школьниками

Анализ действующих школьных учебников химии свидетельствует о том, что учитель должен обладать знаниями об особенностях протекания процессов на границе раздела фаз. Эта информация может быть использована на факультативных занятиях, во внеклассной работе и в ходе организуемой в большинстве школ научно-исследовательской деятельности учащихся при выполнении экспериментальных работ по изучению поверхностного натя-

жения жидкостей и величины адсорбции на различных адсорбентах.

Изучение поверхностных явлений и адсорбции перспективно для формирования навыков исследовательской деятельности у учащихся средних школ, так как не требует сложного аппаратного оформления, достаточно иметь в своём распоряжении весы, бюретку и мерную пипетку, проведение эксперимента позволит освоить метод кислотно-основного

Даследчая дзейнасць навучэнцаў

титрования и научиться обрабатывать экспериментальные данные с помощью расчётных и графических методов.

Рассмотрим кратко теоретические вопросы, а затем методику проведения эксперимента различной степени сложности по изучению поверхностных явлений и адсорбции.

Немного теории

Начнём с того, что любой пограничный слой — граница различных фаз, резко отличается по физико-химическим свойствам от обеих граничащих фаз и характеризуется избыточной поверхностной энергией. Возникновение поверхностных явлений — результат стремления системы к уменьшению свободной поверхностной энергии [3].

Одной из важных характеристик поверхности раздела фаз является *поверхностное натяжение* (σ). Оно характеризует избыток поверхностной энергии, приходящийся на межфазную поверхность площадью, равной 1 м². Поверхностное натяжение равно термодинамически обратимой, изотермической работе, которую надо совершить, чтобы увеличить площадь межфазной поверхности на единицу. Единицы измерения поверхностного натяжения — Дж/м² или Н/м.

На величину поверхностного натяжения влияют природа жидкости, температура, давление, природа и концентрация растворённых веществ и др. Измерения поверхностного натяжения показали, что различные растворённые вещества по-разному влияют на поверхностное натяжение жидкости.

Вещества, понижающие поверхностное натяжение, относятся к *поверхностно-активным веществам (ПАВ)*, повышающие его — к *поверхностно-инактивным веществам (ПИВ)*, практически его не изменяющие — к *поверхностно-неактивным веществам (ПНВ)*.

По отношению к водным растворам поверхностно-активными являются спирты, жирные кислоты и их соли, амины и другие вещества, имеющие дифильное строение, т. е. состоящие из полярной части (функциональные группы) и неполярной части (углеводородный радикал).

Сорбция — это самопроизвольный процесс поглощения твёрдым телом или жидкостью

ную фазу (определяющую форму поверхности) принято называть *сорбентом*, вещество* молекулы которого могут сорбироваться *сорбтивом*, уже сорбированное вещество! *сорбатом*, процесс, обратный сорбции, — *сорбцией*.

Адсорбция — это самопроизвольное изменение (обычно повышение) концентрации: вещества вблизи поверхности раздела фаз *лат. Ad — на и sorbeo — поглощаю*).

Абсорбция — это процесс, который идёт на границе раздела фаз и сопровождается поглощением вещества всем объёмом со- та с химическим взаимодействием или без (*от лат. ab- в и sorbeo — поглощаю*).

Поглотительная способность сорбента висит от величины удельной поверхности. *Удельная поверхность* — это межфазная поверхность, приходящаяся на единицу объёма дисперсной фазы или её массы. При о; ковой степени измельчения пористые адсорбенты имеют большую удельную поверхность, чем адсорбенты с гладкой поверхностью.

Адсорбцию обычно характеризуют за- мостью количества адсорбированного вещества (A) от равновесного давления (P) или концентрации (C) при постоянной температуре. Кривые на графиках $A = f(C)$ и $A = f(P)$ при постоянной температуре называются *изотермами адсорбции*.

Для расчёта величины адсорбции используют следующие уравнения.

1. *Уравнение изотермы Гиббса*, связывающее величину адсорбции со способностью* творённого вещества изменять поверхностное натяжение раствора:

$$\frac{dA}{dC} = \frac{RT}{C}$$

где A — избыточная адсорбция компонента, C — его молярная концентрация в растворе, T — температура, при которой происходит

сорбция, $\frac{dA}{dC}$ — поверхностная активная величина

2. *Уравнение Ленгмюра*:

$$A = A_{\infty} \frac{KC}{1 + KC}$$

где A_{∞} — максимальная адсорбция, A — адсорбция при концентрации C ,

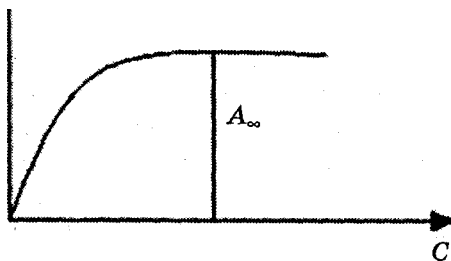


Рисунок 1.1 — Изотерма мономолекулярной адсорбции

ограниченность поверхности адсорбента приводит к её адсорбционному насыщению по мере увеличения концентрации адсорбируемого вещества. Образуется поверхностный слой толщиной в одну молекулу, так называемый *мономолекулярный слой*, адсорбция достигает своего максимального значения (рис. 1.1).

Экспериментальные результаты обычно обрабатывают с помощью уравнения Ленгмюра, записанного в линейной форме (числитель — A , знаменатель — A_{∞} — в числителе, а знаменатель — в знаменателе);

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{A_{\infty}} + \frac{1}{A_{\infty} K C} \quad (1.3)$$

линейная зависимость позволяет графически определить оба постоянных параметра адсорбционной изотермы. Экстраполяция зависимости $\frac{1}{A} = f\left(\frac{1}{C}\right)$ до оси ординат

даёт отрезок, равный $\frac{1}{A_{\infty}}$, а тангенс угла

прямой к оси абсцисс равен $\frac{1}{A_{\infty} K}$

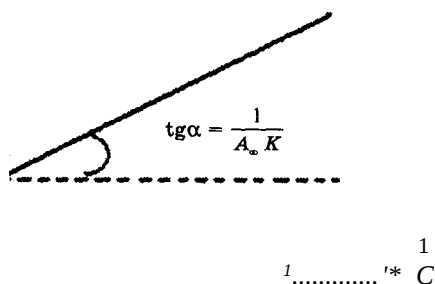


Рисунок 1.2 — Изотерма адсорбции в координатах линейной формы уравнения Ленгмюра

но рассчитать удельную поверхность адсорбента по формуле:

$$S_{уд} \sim S_0, \quad (1.4)$$

где S_0 — площадь, занимаемая одной молекулой на поверхности.

3. Уравнение Фрейндлиха:

$$A = K C^n, \quad (1.5)$$

где K и n — константы, зависящие от природы адсорбтива и температуры,

K — константа, численно равная адсорбции при равновесной концентрации, равной единице,

n — константа, определяющая кривизну изотермы адсорбции, её значение колеблется в пределах от 0,1 до 1,0.

Уравнение Фрейндлиха применимо при средних значениях равновесных концентраций и часто используется при обработке экспериментальных результатов. Для нахождения констант его логарифмированием приводят к уравнению прямой:

$$\ln A = \ln K + n \ln C. \quad (1.6)$$

В координатах $\ln A = f(\ln C)$ — это уравнение прямой, не проходящей через начало координат. Экстраполяция зависимости $\ln A = f(\ln C)$ до оси ординат даёт отрезок, равный $\ln K$, а тангенс угла наклона прямой к оси

абсцисс равен $\frac{1}{n}$ (рис. 1.3).

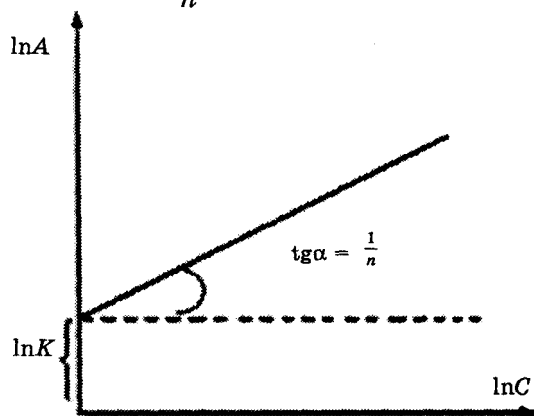


Рисунок 1.3 — Изотерма адсорбции в координатах линейной формы уравнения Фрейндлиха

Даследчая дзейнасць навучэнцаў

Исследование поверхностных явлений

а) *Определение поверхностного натяжения с помощью эталонной жидкости.* Для поддержания чистоты человек использует моющие средства (мыла, порошки, средства для мытья посуды и др.), основу которых составляют поверхностно-активные вещества. Попадая в воду, такие вещества ухудшают её качество и снижают поверхностное натяжение.

Одним из простых методов измерения поверхностного натяжения жидкостей является стагмометрический метод (метод счёта капель), который заключается в определении числа капель, образующихся при вытекании

определённого объёма жидкости из ка-
ного отверстия специальной пипетки
лагмометра (рис. 1.4). В основе метод
закон, согласно которому масса ка-
рывающейся от капилляра, пропорци
коэффициенту поверхностного натяже

Для проведения эксперимента вме
лагмометра можно использовать 61
В этом случае поверхностное натяже
следуемого раствора можно определит
сравнения с поверхностным натяжеш
лонной жидкости — воды, значение в
известно (табл. 1).

Таблица 1 — Поверхностное натяжение воды при различных температурах

$t, ^\circ\text{C}$	0	5	10	15	20	25	30
$\sigma, \text{Н/м}$	0,07562	0,07490	0,07422	0,07349	0,07275	0,07196	0,0711f
$t, ^\circ\text{C}$	35	40	45	50	60	70	80
$\sigma, \text{Н/м}$	0,07029	0,06955	0,06873	0,06791	0,06617	0,06440	0,0626(

Поверхностное натяжение эталонной и
неизвестной жидкости будут отличаться во
столько же раз, во сколько раз отличаются
массы их капель. Данный способ эксперимен-
тального определения поверхностного натяже-
ния даёт хорошие результаты.

Цель работы состоит в изучении влия-
ния различных моющих средств на вели-

чину поверхностного натяжения вод
проведения работы необходимо сле-
оборудование: штатив с бюреткой; сі
ная воронка для заполнения бюреті
мические стаканы объёмом 150 см
ный цилиндр объёмом 100 см³; элект
или технохимические весы с разно
(рис. 1.5).



Рисунок 1.4 — Стагмометр Траубе
(1 — верхняя метка, 2 — нижняя метка)

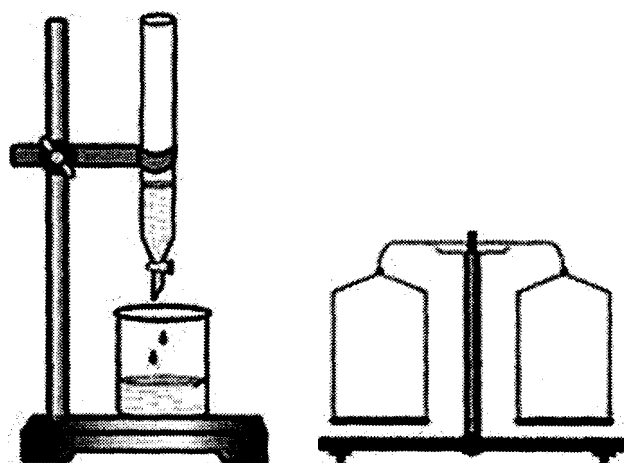


Рисунок 1.5 — Оборудование к работе по исследова-
поверхностного натяжения жидкостей

вст приготовить исследуемые раство-
□держащие образец каждого вещества
I 1 гв воде объёмом 100 см³. Выбор об-
в моющих средств можно провести на
иний опроса, какие из них наиболее ча-
пользуются в семьях учащихся.

ота выполняется в следующей последо-
ности. Бюретку заполняют водой и ре-
пот скорость падения капель так, чтобы
падали достаточно медленно и их было
) считать (примерно 20-30 капель за
нуты). Взвешивают пустой химический
для сбора капель и отсчитывают в эту
ь 30 капель, взвешивают стакан с ка-

плями, определяют массу капель. Аналогично
определяют массу 30 капель раствора, содер-
жащего моющее средство.

Для определения поверхностного натяже-
ния раствора используют формулу:

$$m/n$$

где m и — массы выпущенных из бю-
ретки исследуемого раствора и воды,
 n и n_0 — число капель исследуемого раствора
и воды соответственно.

Полученные данные заносят в таблицу 2.

лица 2 — Сводные результаты по изучению величины поверхностного натяжения

/п	Объект иссле- дования	Масса пусто- го стакана, г	Количество капель, шт.	Масса стакана с каплями, г	Масса ка- пель, г	Величина по- верхностного натяжения, Н/м

:олученным данным учащиеся судят о
и различных моющих средств на вели-
•верхностного натяжения воды.

**изучение адсорбции растворённого ве-
на твёрдых адсорбентах.** В настоящее
I различных целях используют широ-
ортимент адсорбентов. Для изучения
э наиболее доступными являются ад-
>нные лекарственные препараты на-
> и внутреннего применения, космети-
гпрепараты, препараты для поглощения
и др. Для проведения эксперимента
выбирать адсорбенты, применяемые с
елью, например препараты, обладаю-
(сушивающим действием, адсорбенты
тощения вредных веществ, поступив-
организм, косметические глины. Мож-
іатривать адсорбционную способность
для устранения запахов, осушающих
а др. [2].

работы состоит в изучении величины
1И, а также в сравнении адсорбцион-
обности выбранных объектов.

ірование работы необходимо сле-
оборудование: электронные весы или
ійческие весы с разновесами, штатив

с бюреткой; стеклянная воронка для заполне-
ния бюретки; стеклянные воронки для филь-
трования; пробирки объёмом 50 см³ и проб-
ки к ним; колбы конические для титрования
объёмом 100 см³; мерный цилиндр объёмом
25 см³; мерные пипетки объёмом 5 см³; хими-
ческие стаканы объёмом 50-100 см³; бумаж-
ные фильтры.

Следует приготовить такие реактивы: рас-
твор уксусной кислоты с молярной concentra-
цией 0,1 моль/дм³; раствор гидроксида натрия
с молярной концентрацией 0,1 моль/дм³; рас-
твор фенолфталеина с массовой долей 0,5 % в
этаноле с массовой долей спирта 50-60 %.

Работа выполняется в следующей после-
довательности. В пробирку наливают раствор
уксусной кислоты объёмом 25 см³, вносят 1 г
адсорбента, закрывают пробкой и встряхива-
ют в течение 25 минут. После встряхивания
оставляют пробирку на 25 минут в состоянии
покоя для установления равновесия. Раствор
отфильтровывают через складчатый фильтр в
сухую пробирку.

Концентрацию раствора уксусной кисло-
ты до и после адсорбции определяют мето-
дом кислотно-основного титрования. Для это-
го в одну коническую колбу для титрования

Даследчая дзейнасць навучэнцаў

пипеткой вносят исходный раствор уксусной кислоты объёмом 5 см³, в другую — отфильтрованный равновесный раствор также объёмом 5 см³. Добавляют по 2 капли фенолфталеина и титруют раствором гидроксида натрия до появления розового окрашивания от одной добавленной капли, не исчезающего в течение 30 секунд. Титрование каждой пробы проводят не менее трёх раз, для расчёта берут среднее значение.

Величину адсорбции находят по формуле:

$$m$$

где A — величина адсорбции (моль/г), C_j — концентрация кислоты до адсорбции (моль/дм³), C_2 — концентрация кислоты после адсорбции (моль/дм³), V — объём раство-

ра кислоты, взятый для изучения а (дм³), m — масса угля (г).

Концентрацию уксусной кислоты после адсорбции рассчитывают по эквивалентам. Пусть на титрование до адсорбции затрачено раствора объёмом V_1 см³, после адсорбции — V_2 см³. Тогда:

$$\frac{1}{5} \cdot \frac{C_j V_1}{C_2 V_2} \cdot \frac{NaOH}{CH_3COOH} \gg$$

$$\frac{0,1 - y_1}{5} \cdot \frac{0,1 y_2}{5}$$

Аналогичным образом находят значения величины адсорбции на других адсорбентах. Полученные данные заносят в таблицу

Таблица 3 — Сводные результаты по изучению величины адсорбции на различных адсорбентах

№ п/п	Адсорбент	Концентрация раствора кислоты, моль/дм ³	Концентрация раствора щёлочи, моль/дм ³	V нсОН» см ³		Снзсоон» см ³		Величина сорбции,
				V ₁	V ₂	C _j	C ₂	
1								
2								
3...								

По полученным данным учащиеся судят об адсорбционной способности различных адсорбентов

Определение удельной поверхности адсорбентов

В профильных классах при более глубоком изучении адсорбционных процессов *цель работы* состоит в построении изотерм адсорбции, нахождении постоянных величин в уравнениях Ленгмюра и Фрейндлиха, а также расчёте удельной поверхности адсорбента по полученным экспериментальным данным.

Для проведения работы используется то же оборудование, что и в предыдущей работе. Следует приготовить такие реактивы: растворы уксусной кислоты с молярной концентрацией 0,4; 0,2; 0,1; 0,05; 0,025; 0,0125 моль/дм³; раствор гидроксида натрия с молярной концентрацией 0,1 и 0,02 моль/дм³; раствор фенолфталеина с массовой долей 0,5 % в этаноле с массовой долей спирта 50-60 %.

Работа выполняется в следующей последовательности. В шесть пронумерованных пробирок наливают растворы уксусной кислоты

различной концентрации объёмом 25 каждую пробирку вносят активированный уголь массой 1 г, закрывают пробирки ками и встряхивают в течение 25 минут. После встряхивания оставляют пробирки минут в состоянии покоя для установления равновесия. Растворы отфильтровывают через складчатые фильтры в сухие пронумерованные пробирки.

Исходные и равновесные растворы уксусной кислоты титруют раствором гидроксида натрия в присутствии фенолфталеина и рассчитывают величину адсорбции, как и в предыдущей работе. Особенность выполнения эксперимента заключается в том, что первые растворы кислоты титруют раствором щёлочи концентрацией 0,1 моль/дм³, а четвёртый и шестой растворы кислоты титруют раствором щёлочи концентрацией 0,02 моль/дм³. Полученные данные заносят в таблицу 4.

Концентрация раствора кислоты, моль/дм ³	Концентрация раствора щёлочи, моль/дм ³	Умаон, см ³		Сснзсоон, см ³		Величина адсорбции, моль/г	1 A	1 C	ln A	ln C
		V ₁	V ₂	C _i	C ₂					
),4	0,1									
),2	0,1									
)Д	0,1									
>,05	0,02									
1,025	0,02									
1,0125	0,02									

элученным данным строят изотермии (рис. 1.1), графики в координатной формы уравнения Ленгмюра Л) и Фрейндлиха (рис. 1.3). Находят 'ы в данных уравнениях. Записывают ия Фрейндлиха и Ленгмюра с най- I константами. Зная величину пре- адсорбции, рассчитывают удельную >сть адсорбента по формуле 1.4. Под- жимаемая одной молекулой уксус- оты в мономолекулярном слое, равна

Аналогичные исследования проводят на дру- гих адсорбентах, сравнивают и анализируют полученные результаты.

Таким образом, процессы, происходящие на границе раздела фаз, могут рассматривать- ся во внеклассной работе и при организации научно-исследовательской деятельности школь- ников по химии. Это способствует углублению знаний учащихся по химии, формированию познавательного интереса к предмету и уста- новлению прямой и обратной связей в систе- ме «урок — внеклассная работа — научно- исследовательская деятельность школьников».

Список использованных источников

- севич, И. С. Возможности и перспективы использования основ физической химии при орга- зи исследовательской работы школьников / И. С. Борисевич // Наука — образованию, про- (ству, экономике : материалы XX(67) Региональной научно-практической конференции пре- іателей, научных сотрудников и аспирантов, Витебск, 12-13 марта 2015 г. : в 2 т. / Вит. гос. редкол. : И. М. Прищепа (гл. ред.) [и др.]. — Витебск : ВГУ имени П. М. Машерова, 2015. — С. 144-145.
- :евич, И. С. Физическая и коллоидная химия: практическое пособие / И. С. Борисевич, Стугарева. — Витебск : УО «ВГУ им. П. М. Машерова», 2012. — 50 с.
- тская, Ю. Ю. Коллоидная химия: учебник / Ю. Ю. Гавронская. — СПб. : Изд-во РГПУ .. И. Герцена, 2007. — 267 с.