

Учреждение образования
«Витебский государственный университет им. П.М. Машерова»

Дисциплина:
«Физика биосистем»

Составил:
ст.преподаватель
кафедры теоретической физики
А.А. Яхновец

2012 г.

Список вопросов к экзамену

1. Структура и свойства воды.
2. Растворы. pH и ионная сила раствора.
3. Термодинамические свойства растворов. Свободная и связанная вода в биосистемах.
4. Межмолекулярные и внутримолекулярные взаимодействия.
5. Взаимодействия Ван-дер-Ваальса: ориентационные, индукционные, дисперсионные взаимодействия.
6. Водородная связь. Электростатические взаимодействия.
7. Строение, функции и свойства клеток.
8. Структурная организация полимеров и биополимеров.
9. Пространственная организация полимерных молекул.
10. Структура, свойства и функции белков. Аминокислоты.
11. Полипептидная цепь. Пространственная структура белка.
12. Физика ферментов. Ферментативный катализ.
13. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Взаимодействие антиген-антитело.
14. Генетический код. Реализация генетической информации в биосистемах.
15. Строение и физические свойства мембран клеток.
16. Применение термодинамики в биологии
17. Термодинамика открытых систем. Энтропия, информация и биологическая упорядоченность.
18. Цепи транспорта электронов в мембранах.
19. Транспорт веществ в клетках.
20. Транспортные явления в мембранах и организмах.
21. Поры, каналы, насосы. Перенос ионов через мембраны
22. Сигнализация в клетке. Трансдукция сигналов в клетках. Механизмы обработки информации в биосистемах.
23. Генерация и распространение нервного импульса
24. Мозг и память. Электрические свойства мозга.
25. Молекулярные основы памяти.
26. Нейронные сети, нейронные вычислительные системы и нейрокompьютеры.
27. Физико-химические основы процессов мутации.
28. Молекулярная медицина.

Список литературы:

№ п/п	Перечень литературы	Год издания	
Основная			
1	Рубин А.Б. Лекции по биофизике.	1994	
2	Черенкевич С.Н., Мартинович Г.Г., др. Биологические мембраны	2009	
3	Рубин А.Б. Биофизика. Т.1.	1988	
4	Рубин А.Б. Биофизика. Т.2.	1989	
5	Волькенштейн М.В. Биофизика.	1981	
6	Рубин Ф.Б. Биофизика. Т.2, Биофизика клеточных процессов.	1999	
7	Шредингер Э. Что такое жизнь с точки зрения физики.	1972	
8	Костюк П.Г. Биофизика.	1988	
Дополнительная			
9	Рубин Ф.Б. Биофизика. Т 1, Теоретическая биофизика.	1999	
0.	1	Оглезнева Н.Я. Медицинская и биологическая биофизика.	1994
1.	1	Марри З. Биохимия человека.	1995
2.	1	Рубин А.Б. Лекции по биофизике	1994

Введение

В соответствии с современными представлениями все тела – твердые, жидкие, газообразные – состоят из мельчайших частиц (молекул, атомов, ионов).

Представление о дискретном (зернистом) строении материи возникло задолго до нашей эры. Мыслители древних времен: Левкипп (V в. до н.э.), Демокрит (460-370 гг. до н.э.), Эпикур (341-270 гг. до н.э.), Лукреций Кар (94-51 гг. до н.э.) считали, что все вещества состоят из абсолютно неделимых частиц материи, которые они называли атомами.

С падением классической цивилизации развитие атомистических идей приостановилось. Это было связано тем, что в средние века огромную власть получила христианская церковь, которая не признавала атомистики и вела с ней борьбу. Только после того, как в XVII в. были заложены основы физики, атомистика возродилась вновь, но уже как научная гипотеза. В трудах французского философа П. Гассензи (1592-1655), английского физика и математика И. Ньютона (1643-1727), нидерландского физика и математика Х. Гюйгенса (1629-1695), английского физика Р. Бойле (1627-1691), швейцарского ученого Д. Бернулли (1700-1782), русского ученого М.В. Ломоносова (1711-1765) и других ученых доказана атомистическая теория строения веществ, на основании которой объяснялись многие свойства газов и тепловые явления.

Новый этап в развитии молекулярной физики наступил в XX в., когда были получены доказательства реального строения тел из молекул, атомов, ионов.

При построении теории тепловых процессов возможны два подхода: микроскопический, основанный на конкретной атомной модели вещества, и макроскопический, при котором микроскопическая структура вещества не принимается во внимание.

Область физики, в которой изучаются физические свойства тел в различных агрегатных состояниях на основе рассмотрения их микроскопического строения, называется молекулярной физикой. В ней рассматриваются: строение газов, жидкостей и твердых тел, их изменение под действием внешних условий (температуры, давления, электрического и магнитного полей), явления переноса (диффузия, теплопроводность, внутреннее трение), фазовые превращения (кристаллизация, испарение, конденсация и др.), поверхностные явления.

В процессе развития молекулярной физики выделился ряд самостоятельных разделов, например, статистическая физика, физическая химия, физическая кинетика, молекулярная биология, физика твердого тела. Одной из основных особенностей молекулярной физики является широкое использование абстракций и модельных представлений. Абстракция – метод научного исследования, основанный на том, что при изучении некоторого явления, процесса не учитываются его несущественные стороны и признаки. Например: идеальный газ, идеальная жидкость, модель одноатомной, двух-, трех- и многоатомных молекул и т.д. Совокупность тел, ограниченную замкнутой поверхностью, называют системой. Тела, не входящие в систему, но способные оказать на нее какое-либо влияние, называют средой. Величины, с помощью которых характеризуются свойства системы, называют параметрами. Система, состояние которой характеризуется макроскопическими параметрами, называется термодинамической.

Тема №2.1. Основы термодинамики биологических систем

2.1.1. Основные положения термодинамики. Теплоёмкость. Первое начало термодинамики

Термодинамика – раздел физики, изучающий процессы превращения энергии при переходе термодинамической системы из одного состояния в другое.

Термодинамическая система – это тело или группа тел условно выделенные из окружающей среды, в которой происходят термодинамические процессы.

Различают три вида термодинамических систем:

- **изолированная** – которая не обменивается с окружающей средой ни энергией, ни веществом;
- **закрытая** – которая обменивается с окружающей средой энергией, но не обменивается веществом;
- **открытая** – которая обменивается с окружающей средой всеми параметрами: энергией и веществом.

Термодинамический процесс – это процесс перехода системы из одного состояния с параметрами P_1, V_1, T_1 в другое с параметрами P_2, V_2, T_2 , сопровождающийся превращением энергии из одного вида в другой или совершением механической работы.

Различают три вида термодинамических процессов:

- **обратимые** – при которых система, пройдя ряд изменений, возвращается в первоначальное состояние, и при этом ликвидируются все последствия как в самой системе, так и в окружающей среде. Так как убрать последствия из окружающей среды невозможно, то необратимых процессов в природе не существует;
- **необратимые** – при которых не выполняются условия обратимости процесса, т.е. все процессы в природе;
- **циклические** – при которых сама система периодически возвращается в первоначальное состояние, но последствия в окружающей среде не ликвидируются. (По-сути, это особый вид необратимых процессов, например, циклы: день-ночь, смена пор года, физиологические циклы живых организмов и т.д.).

Любой термодинамический процесс сопровождается изменением энергии системы. Мерой изменения энергии является **количество теплоты ΔQ** (или dQ , если мы рассматриваем бесконечно малое изменение энергии системы).

$$\Delta Q = W_2 - W_1$$

где: W_1 и W_2 – энергия начального и конечного состояния системы, соответственно.

При сообщении различным телам одинаковой массы извне одинакового количества теплоты ΔQ температура этих тел изменится на разную величину. (Например, если мы нагреваем две сковороды одинаковой массы. Пусть одна из них стальная, а вторая – чугунная. По опыту мы знаем, что быстрее будет нагреваться стальная сковорода.)

Способность тела изменять свою температуру при сообщении ему количества теплоты называется **теплоёмкостью**.

Для сравнения теплоёмкостей различных тел используют понятие **удельной теплоёмкости** c – теплоёмкости единицы массы вещества:

$$c = \frac{dQ}{mdT} \quad (2.1)$$

Удельная теплоёмкость численно равна количеству теплоты, необходимому для нагревания тела массой 1 кг на один градус.

Из определения теплоемкости можно получить удобную на практике формулу для нахождения количества тепла, необходимого для изменения температуры тела на заранее заданную величину dT .

$$dQ = cmdT \quad (2.2)$$

Что будет происходить с системой, например газом, при сообщении ему количества теплоты dQ ? Здесь можно условно выделить два механизма:

Первый механизм.

При сообщении $dQ > 0$ увеличивается температура тела. (Выражение $dQ > 0$ означает, что изменение теплоты – это положительная величина, т.е. тело нагревается. Если бы dQ было < 0 – это бы значило, что тело остывает). Т.к. температура тела увеличивается, то $dT > 0$. Но при этом происходит изменение внутренней энергии тела. Причем, при увеличении температуры тела внутренняя энергия также увеличивается $dU > 0$. Что при этом происходит на микроскопическом уровне? Из молекулярно-кинетической теории известно, что внутренняя энергия, например, идеального газа – это сумма кинетических энергий всех его молекул $U = \sum W_k$. Т.к. внутренняя энергия газа увеличивается, то увеличиваются и кинетические энергии молекул, т.е. увеличивается скорость их теплового хаотического движения.

Второй механизм.

Давление газа зависит от средней кинетической энергии молекул, формула $p = \frac{2}{3} n_0 \bar{W}_k$. При увеличении кинетической энергии возрастает и давление, оказываемое газом на стенки сосуда. Но давление, по определению: $p = \frac{F}{S}$, откуда $F = pS$. Таким образом, при увеличении давления возрастает сила, с которой молекулы действуют на стенки сосуда, в котором находится газ. Если на стенки сосуда действует сила, то по второму закону Ньютона $F = ma$ может возникнуть ускорение, т.е. движение стенок сосуда. При этом говорят, что газ совершает работу по расширению.

Эти два механизма объединяются **законом сохранения энергии**, который в термодинамике называется **первым началом термодинамики**:

$$dQ = dU \pm dA \quad (2.3)$$

- количество теплоты, сообщаемое термодинамической системе, расходуется на увеличение внутренней энергии и совершение системой работы против внешних сил.

Если сама система совершает работу – то работа положительна $+A > 0$, если над системой совершается работа – то она отрицательна $-A < 0$.

Пусть, например, при обратимом процессе сама система возвращается в первоначальное состояние. Это значит, что ее внутренняя энергия не изменяется,

т.е. изменение внутренней энергии $dU=0$. Подставляя в первое начало термодинамики, получим:

$$dQ = dA \quad (2.4)$$

Но, т.к. обратимых процессов в природе не существует, то выражение (2.4) трактуется как невозможность создания вечного двигателя первого рода, т.е.: система может совершить в лучшем случае только такую работу, какое количество тепла ей передано. Это значит, что невозможно один раз передав системе энергию, получить вечно работающий механизм, совершающий работу больше, чем переданная ему теплота. В дальнейшем, на основании второго начала термодинамики, мы увидим, что условие преобразования всего полученного системой тепла в работу является практически неосуществимым.

2.1.2. Живой организм как тепловая машина, её к.п.д.

Тепловая машина – это периодически действующий механизм, который преобразует внутреннюю энергию топлива в механическую работу и возвращается в первоначальное состояние.

Тепловая машина должна работать периодически, возвращаясь в первоначальное состояние (иначе, для человека просто не будет смысла от машины, которая, например, однократно совершит работу). Из всех известных нам видов термодинамических процессов, принципу действия тепловой машины будет удовлетворять только **циклический процесс**, напомним, при котором сама система возвращается в первоначальное состояние, но последствия в окружающей среде не ликвидируются.

Второе начало термодинамики: невозможно создать периодически действующий механизм, который всё получаемое тепло переводил бы в полезную работу (часть тепла все равно необходимо отдать холодильнику).

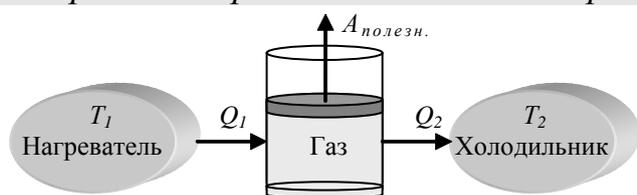
На рис.2.1 представлена блок-схема такой **тепловой машины**, работающей на основе цикла Карно. Рабочее тело – газ, получая от нагревателя, находящегося при температуре T_1 , количество тепла Q_1 , совершает полезную работу и, под действием работы внешних сил, возвращается в первоначальное состояние, отдавая некоторое количество тепла Q_2 холодильнику, находящемуся при температуре T_2 .

Возникает закономерный вопрос: что является в реальной тепловой машине нагревателем, а что – холодильником?

«Роль» нагревателя играет – энергия взрыва топлива! А «роль» холодильника играет – окружающая среда (в двигателе – это может быть система охлаждения, которая, в конечном итоге, сообщается с окружающей средой).

Если, аналогично, предположить, что и живой организм – это тоже тепловая машина, то, что в живом организме является нагревателем и холодильником?

Холодильник для живого организма очевиден – это тоже окружающая среда. Но «роль» нагревателя в живом организме более сложна. Из курсов «химии и биохимии» Вы знаете, что энергия в живом организме высвобождается при окислительно-восстановительных реакциях. С точки зрения энергетики – это экзотермические реакции. В частности, в живом организме



Рабочее тело
Рис.2.1

главным источником энергии является реакция расщепления (гидролиза) АТФ – аденозинтрифосфатной кислоты. Т.е., источником энергии в организме является не сама АТФ, а энергия, которая выделяется при ее расщеплении!!!

Тепловая машина характеризуется **коэффициентом полезного действия η** (греч. «этта») – **к.п.д.** это величина, равная отношению полезной работы к затраченной :

$$\eta = \frac{A_{пол}}{A_{затр}} \quad (2.5)$$

Величина к.п.д. может быть выражена в %: $\eta = \frac{A_{пол}}{A_{затр}} \cdot 100\%$.

Но, выше мы выяснили, что полезная работа – это разность между теплотой, полученной от нагревателя и теплотой, отданной холодильнику: $A_{ползн.} = Q_1 - Q_2$.

А затраченная работа – это количество теплоты, полученное от нагревателя:

$$A_{затр} = Q_1, \text{ тогда к.п.д. реальной тепловой машины: } \eta_{реальн} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad (2.6)$$

Но в реальной тепловой машине всегда существует потеря энергии на нагревание тела самой машины; потеря энергии на преодоление сил трения; потеря энергии за счет того, что создать идеальную адиабатическую «рубашку», которая бы не пропускала тепло в окружающую среду, невозможно! Поэтому, существует абстрактная модель: **идеальная тепловая машина, которая полностью удовлетворяет требованиям цикла Карно.** Такая идеальная тепловая машина характеризуется своим идеальным – теоретическим к.п.д., который рассчитывается не по количеству теплоты, а по температурам нагревателя и холодильника:

$$\eta_{теор} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (2.7)$$

Из приведенных выше соображений понятно, что к.п.д. идеальной тепловой машины, конечно, больше к.п.д. реальной тепловой машины: $\eta_{теор} \geq \eta_{реальн}$.

Рассмотрим теперь вопрос: **возможно ли представить живой организм как тепловую машину?**

Для этого рассчитаем наиболее «простой» - теоретический к.п.д. организма. Пусть температура нагревателя «человеческого тела» $T_1 = 37^\circ\text{C} + 273 = 310$ К, а температура холодильника – окружающей среды $T_2 = 20^\circ\text{C} + 273 = 293$ К. Тогда к.п.д. организма:

$$\rightarrow \eta_{теор} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\% = \frac{310 - 293}{310} \cdot 100\% \approx 5\% \quad !!!$$

Т.е. теоретическое к.п.д. организма составляет «всего?» 5% ?

В действительности, реальное к.п.д. человеческого организма, измеренное с помощью приборов, составляет $\eta_{реальн} \approx 30\%$!!!

Во-первых: мы получили факт, противоречащий второму началу термодинамики. Оказалось, что для живого организма реальное к.п.д. больше, чем к.п.д. теоретическое (такого быть не может)!!!

Во-вторых: откуда «возникли» эти дополнительные 25% к.п.д.? Оказывается, это связано с тем, что живой организм сам вырабатывает для себя «топливо» - АТФ, чего ни одна тепловая машина делать не может.

Поэтому: рассматривать живой организм как ИДЕАЛЬНУЮ тепловую машину НЕЛЬЗЯ !!!

2.1.3. Энтропия. Свободная энергия Гельмгольца и ее физический смысл.

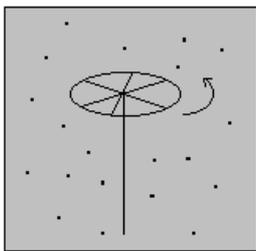


Рис. 2.2

Рассмотрим мысленный эксперимент (Рис.2.2): пусть есть изолированная система, состоящая из сосуда, внутри которого находится газ и вращается механическое колесо (например, обычное велосипедное колесо).

1). В начале: вся энергия – это механическая энергия вращающегося колеса, которую человек мог сравнительно легко израсходовать на совершение полезной нам работы (например: подсоединить к колесу динамомашину и вырабатывать электроэнергию). В процессе трения колеса о газ, эта механическая энергия будет переходить к молекулам газа, в результате чего колесо остановится. После того как механическая энергия колеса перешла к молекулам газа и превратилась в энергию теплового хаотического движения, эту энергию стало труднее использовать для совершения полезной человеку работы (надо сделать цилиндр – поршень – двигатель). И, хотя в изолированной системе величина полной энергии осталась неизменной, эта энергия стала менее ценной для человека. Как описать такую характеристику энергии: более ценная – менее ценная? Для характеристики степени ценности энергии, как способности к совершению работы, и было введено понятие **энтропия**. Исходя из рассмотренного выше механизма, мы можем сказать, что в нашем мысленном эксперименте энергия из более ценной стала для нас менее ценной. Отсюда вытекает первое определение энтропии.

Энтропия – это мера обесценивания энергии.

2). При вращении молекулы газа, за счёт трения о колесо, будут приобретать дополнительную кинетическую энергию и их движение в системе станет более хаотичным, т.е. увеличится беспорядок. Отсюда следует второе определение энтропии.

Энтропия – это мера беспорядка или хаоса в термодинамической системе.

3). Посмотрим на этот процесс с точки зрения теории вероятности. Известно, что все процессы в природе идут от менее вероятных к более вероятным. При трении молекул газа о колесо более вероятно, что молекулы станут двигаться более хаотичнее, чем обратное. Отсюда следует третье определение энтропии.

Энтропия – это мера вероятности состояния термодинамической системы.

Если теперь объединить все три определения энтропии, то получится что: *в изолированной термодинамической системе идет процесс перехода к наиболее вероятному состоянию с максимальным хаосом, при котором происходит обесценивание энергии*. Чтобы не говорить такую большую фразу, теперь нам достаточно «просто» сказать: **энтропия изолированной системы возрастает !!!**

А если теперь учесть, что любая изолированная система стремится к равновесному состоянию, то мы видим, что:

При стремлении изолированной термодинамической системы к состоянию равновесия – энтропия возрастает и стремится к максимальному значению (полный хаос, полностью обесцененная энергия – полная неспособность совершать работу).

В термодинамике энтропия обозначается S и тогда изменение энтропии:

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (2.8)$$

где: dS – бесконечно малое изменение энтропии; dQ – бесконечно малое изменение количества тепла в термодинамической системе; T – температура.

Размерность энтропии: $dS = \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ совпадает с размерностью постоянной

Больцмана.

При обратимых процессах все последствия в системе должны быть ликвидированы, т.е. молекулы должны сами вернуться в первоначальное состояние. Тогда изменение энтропии в системе будет равно нулю $dS=0$, т.е. энтропия останется постоянной $S = \text{const}$, но в реальных процессах это не возможно (мы уже говорили в начале темы, что обратимых процессов не существует). Поэтому, в изолированных системах все процессы идут только с увеличением энтропии: $dS > 0$. Таким образом, обобщая все выше сказанное, мы можем дать вторую – энтропийную формулировку:

Второе начало термодинамики: *все процессы в изолированных термодинамических системах идут с увеличением энтропии.*

Т.е., наиболее вероятное равновесное состояние любой изолированной термодинамической системы – это состояние с максимальным хаосом.

Анализируя второе начало термодинамики, можно прийти к выводу, что:

Живой организм, т.к. он существует долгое время не разрушаясь, не является равновесной изолированной термодинамической системой.

Выразим из определения энтропии (2.8) количество теплоты $dQ = TdS$ и подставим в первое начало $dQ = dU + dA$, тогда: $TdS = dU + dA$.

Отсюда найдем работу, которую может совершить термодинамическая система (живой организм): $dA = TdS - dU$ (2.8)

Если процесс идёт при постоянной температуре (температуре организма), то знак дифференциала можно вынести за скобки: $dA = -d(U - TS)$

Обозначим $U - TS = F$ (2.9)

Выражение (2.9) представляет собой - **свободную энергию Гельмгольца**.

Тогда выражение для работы примет вид: $dA = -dF$, откуда становится понятным **смысл свободной энергии Гельмгольца:** *термодинамическая система может совершить работу за счёт уменьшения свободной энергии Гельмгольца*. Что это за энергия? До сих пор мы знали только один вид энергии - внутреннюю энергию, которая представляет собой сумму кинетических и потенциальных энергий молекул, из которых состоит наш организм - это весь энергетический ресурс организма (энергии «просто» неоткуда больше взяться). Ну что же, выразим из (2.9) внутреннюю энергию: $U = F + TS$ (2.10)

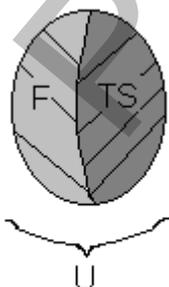


Рис. 2.3

Мы видим (Рис.2.3), что внутренняя энергия – «ресурс организма» состоит как бы из двух частей: F – свободной энергии; и какой то еще величины TS . Что это такое? Посмотрим на размерность этой величины:

$$TS = T \cdot S = \text{К} \frac{\text{Дж}}{\text{К}} = \text{Дж}.$$

Видим, что TS имеет размерность энергии, причём эта энергия связана с энтропией – мерой обесценивания энергии. Поэтому такая энергия TS и называется:– **энергия обесценивания**. TS – это та часть внутренней энергии организма, которая расходуется на организацию молекулярной структуры организма.

Энергия обесценивания - это та часть внутренней энергии, которую мы никогда не имеем право расходовать на совершение работы (иначе возникают заболевания, а при большом расходе TS – летальный исход).

Великий физик, один из создателей квантовой механики, Шредингер сказал про энергию обесценивания так:

«**Энергия обесценивания** – это та цена, которую мы должны заплатить природе, чтобы она разрешила нам совершить работу».

2.1.4. Живой организм как открытая термодинамическая система. Формула Пригожина.

В предыдущем вопросе мы увидели, что живой организм не может быть изолированной термодинамической системой, т.к. в этом случае, за счет увеличения энтропии, в нем будет постоянно возрастать хаос – беспорядок и, в конце концов, он рассыплется на элементарные частицы. В реальности же:

Организм – это открытая термодинамическая система - система, которая обменивается с окружающей средой не только энергией, но и веществом.

Одновременно, мы выяснили, что организм не может быть и равновесной термодинамической системой, поскольку в состоянии равновесия энтропия также максимальна. Что же это за термодинамическая система - живой организм?

Предположим, что энтропия организма стремится к нулю, но энтропия может быть равна нулю только при температуре 0 К (ведь энтропия – мера хаоса, а хаос возникает за счет теплового хаотического движения молекул. А тепловое движение отсутствует только при абсолютном нуле – это «-273°С» !!! Кстати, энтропия равна нулю, как Вы помните в «царстве снежной королевы»), но тогда нет жизни. Значит, энтропия живого организма не может быть равна нулю.

Итак, с одной стороны – энтропия организма не может увеличиваться до бесконечности (мы рассыплемся); с другой стороны – не может уменьшаться до нуля (замерзнем). Значит, энтропия организма – это какая-то постоянная величина:

$$S_{орг} = const \quad (2.11)$$

Термодинамическая система, у которой энтропия остаётся величиной постоянной, называются **стационарной термодинамической системой**. Т.е.:

живой организм – это стационарная термодинамическая система.

Конечно, условие (2.11) стационарности живого организма – это «идеальное» условие. Если бы это условие выполнялось в нашей жизни, то хаос внутри нас был бы всегда постоянным, не увеличивался, и мы жили бы ВЕЧНО! На самом деле, мы знаем, что с течением времени происходит процесс старения, т.е. накапливается неупорядоченность – хаос, а значит, энтропия организма постепенно возрастает. О том как с этим «бороться» мы и поговорим.

Как достигнуть постоянства энтропии? В живом организме для этого существует два механизма:

- **энергетический механизм** – живой организм получает из окружающей среды энергию путём теплопроводности; поглощения теплового электромагнитного излучения и других процессов. При этом энтропия организма увеличивается. Сам организм тоже излучает энергию в окружающую среду, если её температура меньше температуры организма. Поэтому летом при температуре 37°C и выше теплокровным млекопитающим тяжелее поддерживать постоянство энтропии.

- **механизм обмена веществ** – мы - живые организмы, поглощаем из окружающей среды питательные вещества – высокомолекулярные соединения с относительно небольшой энтропией. Это молекулы со сложной структурой. В них много порядка, а, значит, относительно мало беспорядка, т.е. хаоса – энтропии. В организме эти высокомолекулярные соединения расщепляются до низкомолекулярных веществ с более высокой энтропией. Эти высокоэнтропийные продукты распада (шлаки) должны выводиться из организма.

Определим баланс между поступающей в организм и выводящейся из него энтропией. Что значит условие (2.11)? По-другому, его можно записать как:

$$dS_{\text{орг.}} = 0 \quad (2.12)$$

Действительно, если мы хотим, чтобы наша энтропия оставалась постоянной, надо, чтобы ее изменение было равно нулю!

А теперь вспомним, что организм – это открытая система. Т.е. учтем, что изменение энтропии в нем может происходить как за счет внутренних процессов (расщепление пищи), так и за счет взаимодействия с окружающей средой (выведение высокоэнтропийных шлаков, теплообмен). Поэтому для организма, как открытой системы, можно записать изменение его энтропии:

$$dS_{\text{орг.}} = dS_{\text{внутр}} + dS_{\text{внеш}} \quad (2.13)$$

Т.е. изменение энтропии организма в целом складывается из изменения энтропии внутри организма и изменения энтропии за счёт обмена с окружающей средой.

Теперь учтем условие (2.12) стационарного существования организма:

$$0 = dS_{\text{внутр}} + dS_{\text{внеш}}$$

Откуда получим, что:

$$dS_{\text{внутр}} = -dS_{\text{внеш}} \quad (2.14)$$

Выражение (2.14) показывает, что изменения энтропии внутри организма и за счёт обмена с внешней средой противоположны по знаку. Как можно трактовать полученный результат? Что происходит внутри организма?

При поглощении питательных веществ происходят окислительно-восстановительные реакции – и, что самое главное, - это экзотермические реакции, идущие с выделением тепла, то есть $dQ > 0$. Если посмотреть на определение энтропии (2.8), то мы увидим, что при этом и энтропия внутри организма будет возрастать. Тогда условие (2.14) можно сформулировать более конкретно: *увеличение энтропии внутри организма за счёт экзотермических реакций должно компенсироваться выделением энтропии в окружающую среду.*

В работах И. Пригожина и его школы показано, что решающую роль играет не сама энтропия, а скорость, с которой она накапливается или выводится из организма.

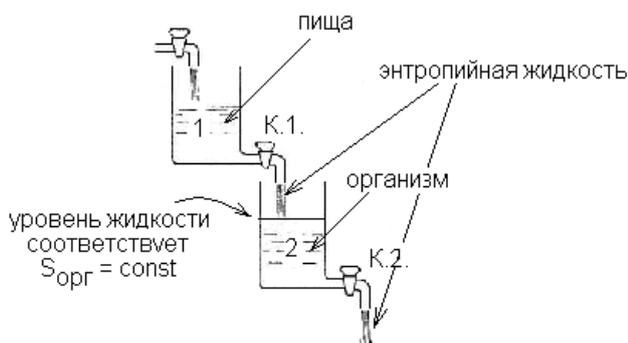


Рис. 2.4

Чтобы найти скорость изменения какой-либо величины, надо найти производную по времени. Поступим так с выражением (2.14):

$$\frac{dS_{внутр}}{dt} = -\frac{dS_{внеш}}{dt} \quad (2.15)$$

Мы получили САМОЕ ГЛАВНОЕ «УСЛОВИЕ ВЕЧНОЙ ЖИЗНИ»:

условие стационарного

существования живого организма: скорость увеличения энтропии внутри организма должна быть равна скорости её выведения в окружающую среду.

Но, к сожалению, мы стареем, хаос в организме постепенно накапливается, и,

на самом деле: $\frac{dS_{внутр}}{dt} > -\frac{dS_{внеш}}{dt}$

скорость увеличения энтропии внутри организма превышает скорость её выведения в окружающую среду. Попросту говоря, мы недостаточно быстро выводим из организма шлаки, то есть недостаточно быстро очищаем свой организм.

Выражение (2.15) хорошо иллюстрируется на примере «**проточной модели организма**» (Рис.2.4).

Из первого резервуара (окружающей среды) через кран К.1. в организм вливается «энтропийная жидкость». В организме, резервуар №2, уровень энтропийной жидкости должен оставаться постоянным. Для этого кран К.2. должен быть открыт также как и кран К.1. Но что это за краны К.1. и К.2. в организме?

Роль крана К.1. играет эндокринная система, которая обеспечивает выработку ферментов-катализаторов экзотермических реакций, приводящих к увеличению энтропии. Но в нашем случае важен не сам кран К.1. Важно на сколько он открыт, на сколько быстро втекает в организм энтропийная жидкость. Значит, главная роль отводится не самой эндокринной системе, а скорости, с которой она вырабатывает ферменты-катализаторы.

Главную роль в скорости накопления энтропии в организме играет **активность** эндокринной системы.

Что такое кран К.2? Ответ более очевиден. Это органы, вернее не сами органы, а активность работы органов выделительной системы.

Главную роль в скорости выведения энтропии из организма играет **активность** работы выделительной системы.

Таким образом, условие (7.24) «вечной жизни» теперь можно сформулировать и так:

Если активность работы эндокринной системы равна активности работы выделительной системы, то организм будет находиться в стационарном состоянии и существовать неограниченно долго.

2.1.5. Первое и второе начало термодинамики в биологических системах

Из первого начала следует, что работа может совершаться или за счет изменения внутренней энергии системы, или за счет сообщения системе некоторого количества тепла.

В живой системе, независимо от того, целый это организм или отдельные органы, работа не может совершаться за счет притока тепла извне, т.е. живой организм не может работать как идеальная тепловая машина. В качестве доказательства определим температуру мышцы (T_1), предполагая, что она работает как тепловая машина с КПД = 30% при температуре окружающей среды $T_2 = 298^\circ\text{K}$ по формуле (7.14). Получим: $T_1 = 426^\circ\text{K}$ или 153°C , что естественно нереально, так как белки денатурируются при температуре $40^\circ - 60^\circ\text{C}$.

Таким образом, в живом организме работа совершается за счет изменения внутренней энергии системы при различного рода биохимических процессах или за счет изменения энтропийного фактора.

Опытное подтверждение справедливости первого закона термодинамики для биологических систем в 1780 году провели Лавуазье и Лаплас методом непрямой калориметрии, который основан на том факте, что нормальное употребление кислорода O_2 и выделение углекислого газа CO_2 в организме теплокровного животного тесно коррелируется с теплопродукцией.

В 1904 году Этуотер использовал метод прямой калориметрии. В результате опыта, расхождение между притоком теплоты (от обмена белков, жиров и углеводов) в организм человека и расходом теплоты (на выделение с газом, с калом и мочой, на испарение при дыхании, через кожу и др.), было не более 1% (Табл. 2.1).

Таблица 2.1. Тепловой баланс человека за сутки

Приход теплоты (кДж)		Расход теплоты (кДж)	
белок (56,8 г)	993	выделенная теплота	5757
жиры (140,0 г)	5476	с газом	180
углеводы (79,9 г)	1404	с калом и мочой	96
		теплота испарения	
		при дыхании	758
		через кожу	951
		различные поправки	46
Всего:	7873		7788

Приведенные расчеты показывают хорошие совпадения в том случае, если организм не производит значительной физической нагрузки и в нем не происходит значительное накопление массы. Таким образом:

живой организм в какой-то степени сходен с тепловой машиной: он также выделяет теплоту в окружающую среду, т.е. обладает свойством теплопродукции за счет энергии, полученной от продуктов питания и фотосинтеза и, кроме того, выполняет различные виды работы:

- **механическую** (мышцы при сокращениях);

- **электрическую** (при генерации биопотенциалов в клетках и клеточных органеллах, при проведении возбуждения в нервных клетках);
- **химическую** (совершается клеткой при синтезе высокомолекулярных веществ из низкомолекулярных);
- **осмотическую** (при активном транспорте веществ через клеточные мембраны против направления градиента концентрации веществ);
- **оптическое высвечивание** (на люминесценцию: светлячки, грибы, глубоководные рыбы, медузы и т.д. – всего насчитывают около 250 видов живых организмов, в той или иной степени создающей свечение).

Аккумуляция энергии в живом организме происходит в сложных биохимических соединениях, важнейшим из которых является аденозинтрифосфатная кислота (АТФ). Молекула АТФ состоит из:

- 1). органического основания аденина;
- 2). углевода рибозы;
- 3). трех остатков фосфорной кислоты, которые заряжены отрицательно и между которыми поэтому действуют электростатические силы отталкивания.

Первый кислотный остаток присоединен к атому рибозы эфирной связью, а два других связаны между собой макроэргическими связями (макро – большой, эргон – работа). При гидролизе АТФ образуется ортофосфорная кислота, аденозиндифосфат (АДФ) и выделяется энергия:

$$\text{АДР} + \text{H}_2\text{O} = \text{АДФ} + \text{H}_3\text{PO}_4 + Q$$

Разрыв макроэргической связи в молекуле АТФ приводит к выделению энергии от 25 до 33 кДж/моль, тогда как при гидролизе сложноэфирных соединений выделяется энергия от 8 до 12 кДж/моль.

Молекулы АТФ сосредоточены внутри животных клеток в митохондриях, которые часто называют энергетическими станциями клеток.

В организме, при окислении пищевых продуктов веществ до конечных продуктов, образуется энергия, которая выделяется в виде основной (первичная) и активной (вторичная) теплоты.

Первичная теплота (Q_1) выделяется сразу после поглощения организмом кислорода и продуктов питания и идет на нагревание организма, рассеивается в окружающее пространство и 50% накапливается в АТФ, которую затем организм черпает на жизнедеятельность.

Вторичная теплота (Q_2) – это теплота, которая выделяется при разрыве макроэргических связей, запасенных ранее в организме и реализуемых при активной работе. В норме первичная теплота должна равняться вторичной.

Уменьшение вторичной теплоты вызывает увеличение первичной (потовыделение) и, наоборот, уменьшение первичной теплоты вызывает увеличение вторичной (при переохлаждении появляется дрожь тела).

Из всего сказанного следует, что обмен веществ в организме неразрывно связан с процессами превращения энергии. Следовательно, первый закон термодинамики полностью применим к биологическим системам.

Следствием первого начала термодинамики является **закон Гесса (1836)**: *тепловой эффект химической реакции, развивающийся через ряд последовательных стадий не зависит от пути реакции, а лишь от разности теплосодержания*

исходного и конечного продуктов реакции. Закон Гесса используется также для вычисления калорийности отдельных пищевых продуктов.

Современные методы лечения человека и животных теплом могут быть разделены на три группы:

- контактное приложение нагретых сред (вода, торф, песок, глина, лечебные грязи, кристаллические соли, парафин и др.);
- использование теплоты образующейся в тканях при прохождении высокочастотного тока электрического и магнитного полей (дарсонвализация, диатермия, индуктотермия, УВЧ-терапия, микроволновая терапия);
- светотепловое облучение (инфракрасное излучение).

Непосредственное применение второго начала термодинамики к живому организму, как открытой системе, в которой протекают неравновесные процессы, встречает ряд трудностей. Действительно, организм поглощает из среды питательные вещества и выводит из нее продукты метаболизма, получает энергию (в процессе простого поглощения тепла или процессе фотосинтеза) и выводит из нее теплоту, реагирует на любые изменения в окружающем его геополях (гравитационных, электрических, магнитных и др.).

Если в изолированной физической системе в начальный момент имеются градиенты давления, концентрации, температуры и других величин, то через некоторое время произойдет выравнивание этих градиентов и параметры системы распределяются равномерно и по всему объему, а энтропия системы достигает максимума.

Иное положение в биологических системах.

Известно, что свойством живых клеток, тканей или организмов является их способность совершать работу, а работа может совершаться только за счет изменения энергии системы. Но изменение энергии связано с наличием градиентов физических величин. Поэтому на основании величины различных градиентов можно судить о жизнеспособности того или иного организма, и по выравниванию градиентов судить о наступлении его гибели.

При этом эти неравновесные состояния в живом организме таковы, что многие определяющие их физические и химические параметры сохраняются длительное время неизменными. Например, температура тканей, величины биопотенциалов покоя, осмотические величины, солевой состав и кислотность различных биологических жидкостей и т.п. Такое состояние системы называется **стационарным**. Стационарное состояние достигается путем взаимной компенсации всех процессов, связанных с поступлением, удалением и превращением вещества в энергию.

Таким образом, если термодинамическое равновесие характеризуется отсутствием каких-либо процессов, то

стационарное состояние осуществляется за счет постоянства скоростей физических и химических процессов в живых организмах.

Для описания неравновесных процессов вводят понятие

интенсивности термодинамических потоков – это количество переносимой физической величины в единицу времени через единицу площади поверхности перпендикулярно к этой поверхности.

Например, интенсивность теплового потока пропорциональна градиенту температуры: $J_T \propto H \frac{\Delta T}{\Delta x}$, интенсивность диффузионного потока пропорциональна градиенту концентрации вещества: $J_D \propto D \frac{\Delta C}{\Delta x}$, интенсивность потока электрического заряда пропорциональна градиенту потенциала: $J_C \propto \gamma \frac{\Delta \varphi}{\Delta x}$, где γ – удельная электропроводность.

Могут быть потоки: осмотический, электродиффузионный и другие, которые также определяются градиентами соответствующих величин.

В биологической системе многие потоки связаны друг с другом. Например, диффузия определяется не только разностью концентраций, но разностью температур (термодиффузия), разностью потенциалов (электродиффузия), если диффундирующие частицы заряжены и т.п.

Поэтому диффузионный поток равен алгебраической сумме всех потоков:

$$J_D = -D \frac{\Delta C}{\Delta x} - H \frac{\Delta T}{\Delta x} - \gamma \frac{\Delta \varphi}{\Delta x} \dots \quad (2.16)$$

Обозначим термодинамический поток, вызванный i -ой причиной (диффузией, вязкостью, теплопроводностью и т.д.) через J_i , а градиенты различных величин назовем обобщенными силами и обозначим их x_k , соответствующие коэффициенты – L_{ik} . Тогда уравнение (2.16) примет вид: $J_i = L_{11}x_1 + L_{12}x_2 + L_{13}x_3$ (2.17)

$$\text{где: } L_{11} = D; L_{12} = H; L_{13} = \gamma; x_1 = -\frac{\Delta C}{\Delta x}; x_2 = -\frac{\Delta T}{\Delta x}; x_3 = -\frac{\Delta \varphi}{\Delta x}.$$

Аналогично все потоки, имеющиеся в неравновесной системе, можно записать в виде уравнения, получившего название феноменологического:

$$J_i = \sum_{k=1}^n L_{ik} x_k \quad (2.18)$$

где: $k, i = 1, 2, \dots, n$; L_{ik} – феноменологический коэффициент Онсагера.

При этом каждый из потоков влияет на величины других потоков. Например, химическая реакция окисления в клетках снижает концентрацию кислорода в них, что создает диффузионный поток кислорода внутрь клетки, а этот поток создает диффузионный поток углекислого газа из клетки.

Вывод: при стационарном состоянии вклад, который дает обобщенная сила x_k в несоответствующий этой силе поток J_i , равен вкладу, который дает обобщенная сила x_i в несоответствующий этой силе поток J_k , т.е.: $L_{i,k} = L_{k,i}$ (2.19)

Значит, равное действие вызывает равную ответную реакцию в термодинамической системе.

Открытая система обменивается с окружающей средой веществом и энергией, поэтому изменение энтропии в организме имеет вид (2.13): $dS_{op} = dS_i + dS_e$.

где: $dS_i = dS_{внутр}$ – изменение энтропии внутри организма; $dS_e = dS_{внеш}$ – изменение энтропии организма за счет обмена с внешней средой.

В предыдущем пункте мы уже обсуждали, что:

$dS_i \geq 0$ – что соответствует возрастанию энтропии при протекании необратимых процессов в организме за счет химических реакций;

dS_e – изменение энтропии при взаимодействии организма с окружающей средой, в результате чего в организм поступает свободная энергия. dS_e может принимать любые значения: положительные, отрицательные и равные нулю. Если $dS_e > 0$, то $dS_{опз} > 0$ – это означает, что сложные биохимические соединения распадаются на простые, клеточные структуры разрушаются и жизнь прекращается. Если $dS_e = 0$, то $dS_{опз} = dS_i > 0$, тоже происходит гибель организма. Если $dS_e < 0$, но больше dS_i , то $dS_{опз} < 0$, что вызывает образование клеток, рост тканей и т.д.

Таким образом, **в открытой системе поток энтропии может быть не только положительным, но и отрицательным.**

Положительное приращение энтропии есть мера превращения упорядоченной формы движения в неупорядоченную, а отрицательное приращение энтропии – наоборот, т.е. условие $dS_{опз} < 0$ – это условие существования и усложнения живых организмов.

На различных этапах жизни dS меняется, поэтому ввели понятие скорость изменения энтропии в организме:

$$\frac{dS_{опз}}{dt} = \frac{dS_i}{dt} + \frac{dS_e}{dt} \quad (2.20)$$

Выражение (2.20) можно сформулировать как:

Второе начало термодинамики для живого организма: *скорость изменения энтропии в организме равна алгебраической сумме скорости возрастания энтропии внутри организма и скорости поступления отрицательной энтропии из внешней среды в организм.*

При стационарном состоянии $\frac{dS_{опз}}{dt} = 0$, тогда (2.20) примет вид, аналогичный полученному в предыдущем пункте выражению (2.15): $\frac{dS_i}{dt} = -\frac{dS_e}{dt}$. В этом случае в организме ряд параметров системы остаются постоянными – такая способность организма называется **гомеостаз**. Если в организме происходит нарушение гомеостаза до определенного предела, то стационарное состояние рано или поздно восстанавливается. Это явление называется **аутостабилизация**.

При увеличении теплоотдачи теплокровным животным возрастает теплопродукция, что необходимо для поддержания температуры тела постоянной. Это происходит за счет увеличения доли вторичной теплоты. Выделение теплоты происходит в значительной степени в скелетных мышцах и в некоторых внутренних органах и зависит от вида животного от его возраста, размера, пола, питания, степени акклиматизации к внешним условиям и от величины мышечной нагрузки.

Теплопродукция – это количество теплоты, выделяемое животным в единицу времени:

$$Q_T = \frac{Q}{t} \quad (2.21)$$

Теплопродукция зависит от массы животного и выражается эмпирической формулой:

$$Q_T = kM^n \quad (2.22)$$

где: k – эмпирический коэффициент; n – показатель степени ($n = 0,75$); M – масса животного.

Логарифмируя (2.22), получим: $\lg Q_T = \lg k + n \lg M$

В логарифмических координатах графиком зависимости $\lg Q_T = f(\lg M)$ будет прямая, на которую достаточно хорошо ложатся экспериментальные точки для разных животных (Рис. 2.5).

Значение $n = 0,75$ долгое время было непонятным. На первый взгляд значение n должно было быть или 1 (теплопродукция пропорциональна массе животного: $Q_T = kM$), или $2/3$ (теплопродукция пропорциональна площади его поверхности: $Q_T = kM^{2/3}$, т.к. площадь поверхности тела пропорциональна квадрату его линейных размеров, а масса пропорциональна кубу линейных размеров, то площадь поверхности $S \sim M^{2/3}$).

В 1967 году А.И. Быховский установил, что теплопродукция организма может быть выражена как сумма:

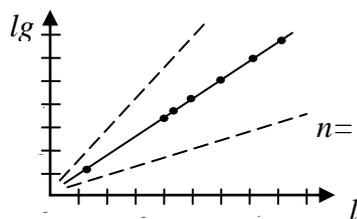


Рис.

- 1 – мышь; 2
- кролик;
- 3 – собака; 4
- человек.

$$Q_T = Q_B + Q_C \quad (2.23)$$

где: Q_B – теплопродукция при взаимодействии клеток между собой и пропорциональна массе всех клеток организма: $Q_B \sim M$;

Q_C – теплопродукция, обусловленная взаимодействием организма с окружающей средой, т.е. пропорциональна площади поверхности или $Q_C \sim M^{2/3}$. Таким образом, формула (2.23) примет вид:

$$Q_T = aM + bM^{2/3} \quad (9.42)$$

Это и объясняет отличие реальной зависимости от прямых с $n = 1$ и $n = 2/3$ на графике (Рис. 2.5 - пунктирные линии).

Удельная теплопродукция – величина, численно равная количеству теплоты, выделяемой единицей массы животного в единицу времени:

$$q = \frac{Q}{Mt} = \frac{Q_T}{M} = a + \frac{b}{\sqrt[3]{M}} \quad (2.24)$$

Значения коэффициентов a и b :

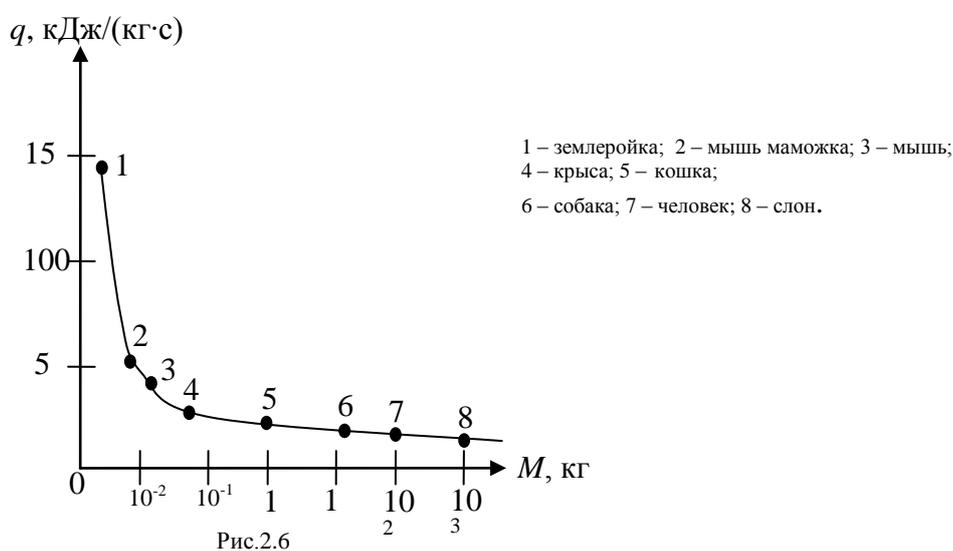
для **гомойотермных** животных (температура организма постоянная – теплокровные животные): $a = 41,9 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{сут})$

$$b = 244 \text{ кДж}/(\text{кг}^{2/3} \cdot \text{сут});$$

для **пойкилотермных** животных (температура организма зависит от окружающей среды – холоднокровные):

$$a = 33 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{сут})$$

$$b = 7,97 \text{ кДж}/(\text{кг}^{2/3} \cdot \text{сут}).$$



Уравнение (2.24) хорошо согласуется с опытными данными. График зависимости $q = f(at)$ представлен на рисунке 2.6.

Из рисунка видно, что удельная теплопродукция уменьшается с увеличением массы

животного. Поэтому для компенсации большой потери теплоты мелкими животными требуется повышение интенсивности метаболизма и, следовательно, потребление ими относительно большого количества пищи. Этим объясняется необычайная прожорливость грызунов, мелких птиц и пр. Так, певчие птицы потребляют за сутки количество пищи, равное их собственной массе, тогда как хищники (лев, тигр) съедают в сутки пищу, равную 5-8% от их собственной массы.

Что касается теплопродукции холоднокровных животных, то она в среднем примерно в 25-30 раз меньше, чем у теплокровных, за счет уменьшения теплообмена с внешней средой из-за меньшей разности температур между средой и телом животного.

Поскольку теплопродукция увеличивается с возрастанием доли вторичной (активной теплоты), то она должна быть больше в тех случаях, когда в организме происходят активные физиологические процессы. Так, количество тепла, выделяемого 1 м^2 поверхности тела лактирующих коров, тем больше, чем больше их суточный удой. По этой же причине в начальной стадии развития животных теплопродукция заметно больше, чем у взрослых животных. Например, удельная теплопродукция у месячного поросенка около $120 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{г})$, а у взрослой свиньи – $60 \text{ кДж}/(\text{м}^2 \cdot \text{г})$.

УТВЕРЖДАЮ

Ректор УО «ВГУ им. П.М. Машерова»

_____ А.П.Солодков

« _____ » _____ 200__ г.

Регистрационный № УД- _____ /р.

ФИЗИКА БИОСИСТЕМ

(название дисциплины)

Учебная программа для специальности:

1 31 04 01-04 Физика
(код специальности) (наименование специальности)

Факультет _____
физический _____

(название факультета)

Кафедра _____ теоретической
физики _____

(название кафедры)

Курс (курсы)

4

Семестр (семестры)

8

Лекции 32
(количество часов)

Экзамен 11
(семестр)

Практические (семинарские)
занятия _____

Зачет _____
(семестр)

(количество часов)

Лабораторные
занятия _____

Курсовой проект (работа) _____

(количество часов)

(семестр)

Всего аудиторных часов по
дисциплине 32
(количество часов)

Всего часов
по дисциплине 32
(количество часов)

Форма получения высшего
образования дневная

Составили Яхновец Андрей Анастасьевич ст.преп. кафедры
теоретической физики,

(И.О.Фамилия, степень, звание)

2012 г.

Репозиторий ВГУ

Учебная программа составлена на основе типовой учебной программы
«Физика биосистем» регистрационный № ТД-Г.192/тип

(название типовой учебной

От 20.04 2009

программы (учебной программы (см. разделы 5-6 Порядка)), дата утверждения, регистрационный номер)

Рассмотрена и рекомендована к утверждению в качестве рабочего варианта на заседании кафедры

теоретической физики

(название кафедры)

22.12.2011, №6

(дата, номер протокола)

Заведующий кафедрой

(подпись)

(И.О.Фамилия)

Одобрена и рекомендована к утверждению Научно-методическим советом
УО «ВГУ им. П.М. Машерова»

(название высшего учебного заведения)

(дата, номер протокола)

Председатель

(подпись)

(И.О.Фамилия)

1.1.1.1.1.1 1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

1.1. Цель преподавания дисциплины усвоение студентами основных представлений о молекулярных основах строения живых систем, физических основах функционирования клеток и организмов, подготовка к чтению специальной литературы.

1.2. Задачи изучения дисциплины _____

- Определение основных понятий физики живых систем _
- Применение знаний полученных в курсе физики для биологических систем

1.1.1.1.1.2 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЩЕГО КОЛИЧЕСТВА ЧАСОВ ПО СЕМЕСТРАМ –

32 лекционных часов (8 СЕМЕСТР), экзамен.

1.3. Перечень дисциплин с указанием разделов (тем), усвоение которых студентами необходимо для изучения дисциплины

№ п/п	Наименование дисциплины	Раздел, тема
2		

2. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

2.1. Наименование тем, их содержание, объём в часах лекционных занятий

№	1.2 Наименование тем	Содержание	Объём в часах
	1.3 2	3	4
	Предмет биофизики. Структура и свойства воды.	Предмет физики живых систем. Понятие "живая система" и другие понятия. Структура и свойства воды. Растворы. рН и ионная сила раствора. Термодинамические свойства растворов. Свободная и связанная вода в биосистемах.	4
	Межмолекулярные взаимодействия	Межмолекулярные и внутримолекулярные взаимодействия. Взаимодействия Ван-дер-Вальса: ориентационные, индукционные, дисперсионные взаимодействия. Водородная связь. Электростатические взаимодействия.	2
	Структурная организация полимеров и биополимеров.	Структурная организация полимеров и биополимеров. Пространственная организация полимерных молекул. Свободно-сочлененная цепь. Внутреннее вращение и поворотная изомерия. Объемные взаимодействия в полимерах. Переход глобула-клубок	4
	Структура и свойства белков. Ферменты	Структура, свойства и функции белков. Аминокислоты. Полипептидная цепь. Пространственная структура белка. Физические свойства белка. Динамика белка. Фазовые переходы в белках. Оптические свойства белков. Свойства гемоглобина и ряда других белков. Физика ферментов. Функции белков. Ферментативный катализ. Химическая кинетика. Уравнение Михаэлиса-Ментен. Взаимодействие антиген-антитело.	2
	Строение, функции и свойства нуклеиновых кислот	Строение, функции и свойства нуклеиновых кислот. Генетический код. Реализация генетической информации в биосистемах.	4
	Строение и свойства углеводов. Липиды и липидные структуры	Углеводы. Строение и свойства. Молекулярное узнавание. Обработка и хранение информации с участием углеводов. Липиды. Строение и свойства. Полиморфизм липидных структур. Фазовые переходы в липидных структурах.	2
	Строение и физические свойства мембран клеток	Строение и физические свойства мембран клеток. Молекулярные свойства липидов в	2

№	1.2 Наименование тем	Содержание	Объем в часах
	1.3 2	3	4
		бислое. Физические свойства белков в мембранах. Белок-липидные взаимодействия в мембранах.	
	Физические свойства клеток. Транспорт веществ в клетках	Физические свойства клеток. Поверхностный заряд. Трансмембранный потенциал. Биопотенциалы. Электрические свойства клеток. Транспорт веществ в клетках. Транспортные явления в мембранах и организмах. Поры, каналы, насосы. Перенос ионов через мембраны	2
	Применение термодинамики в биологии. Биоэнергетика	Применение термодинамики в биологии. Термодинамика открытых систем. Энтропия, информация и биологическая упорядоченность. Детерминированный хаос в биосистемах. Энергетические процессы в клетках. Биоэнергетика. Преобразование энергии в биосистемах. Цепи транспорта электронов в мембранах.	4
	Сигнализация в клетке	Сигнализация в клетке. Трансдукция сигналов в клетках. Механизмы обработки информации в биосистемах.	2
	Генерация нервного импульса	Генерация и распространение нервного импульса. Мозг и память. Электрические свойства мозга. Молекулярные основы памяти. Нейронные сети, нейронные вычислительные системы и нейрокомпьютеры.	2
	Молекулярные и клеточные основы медицины	Молекулярные и клеточные основы медицины. Биофизика и молекулярная патология. Физико-химические основы процессов мутации. Молекулярная медицина. Биодатчики и биосенсоры	2
Итого			32

2.2. Лабораторные занятия, их наименование и объём в часах

№	1.4 Наименование тем	Содержание	Объем в часах
	1.5 2	3	4
Итого			

Репозиторий ВГУ

Репозиторий ВГУ

1.5.1.1.1.1 3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

№ раздела, темы	Название раздела, темы; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				обеспечение занятий (наглядные, методические пособия и литература)	Литература	Форма контроля знаний
		лекции	практические (семинарские)	Лабораторные занятия	Управляемая (контролируемая) самостоятельная работа студента			
	2				6	7	8	
8 семестр								
	Предмет биофизики. Структура и свойства воды.						1] 2] 7]	Мод.1
	Межмолекулярные взаимодействия						2] 4] 8]	Мод.1
	Структурная организация полимеров и биополимеров.						3] 7] 8]	Мод.1
	Структура и свойства белков. Ферменты						3] 7] 8]	Мод.1

	2				6	7	8	
	Строение, функции и свойства нуклеиновых кислот						3] 7] 8]	Мод.1
	Строение и свойства углеводов. Липиды и липидные структуры						1] 5] 6]	Мод.1
	Строение и физические свойства мембран клеток						1] 2] 3]	Мод.2
	Физические свойства клеток. Транспорт веществ в клетках						1] 2] 5]	Мод.2

	2				6	7	8	
	Применение термодинамики в биологии. Биоэнергетика						1] 2] 6]	Мод.2
0	Сигнализация в клетке						1] 4] 5]	Мод.2
1	Генерация нервного импульса						1] 2] 3]	Мод.2
2	Молекулярные и клеточные основы медицины						1] 4] 6]	Мод.3 экзамен

1.5.1.1.1.2

1.5.1.1.1.1.3 4. ИНФОРМАЦИОННАЯ ЧАСТЬ

4.1. Основная и дополнительная литература

№ п/п	Перечень литературы	Год издания
Основная		
1.	Рубин А.Б. Лекции по биофизике.	1994
2.	Черенкевич С.Н., Мартинович Г.Г., др. Биологические мембраны	2009
3.	Рубин А.Б. Биофизика. Т.1.	1988
4.	Рубин А.Б. Биофизика. Т.2.	1989
5.	Волькенштейн М.В. Биофизика.	1981
6.	Рубин Ф.Б. Биофизика. Т.2, Биофизика клеточных процессов.	1999
7	Шредингер Э. Что такое жизнь с точки зрения физики.	1972
8	Костюк П.Г. Биофизика.	1988
Дополнительная		
9.	Рубин Ф.Б. Биофизика. Т 1, Теоретическая биофизика.	1999
10	Оглезнева Н.Я. Медицинская и биологическая биофизика.	1994
11	Марри З. Биохимия человека.	1995
12	Рубин А.Б. Лекции по биофизике	1994

4.2. Список компьютерных программ

**ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ**

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола) ¹

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ теоретической физики _____ (протокол № 6 от 22 декабря 2011г.)
(название кафедры)

Заведующий кафедрой

_____ (степень, звание)

_____ (подпись)

Ю.В.Трубников
(И.О.Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета

_____ (степень, звание)

_____ (подпись)

Ю.И. Бохан
(И.О.Фамилия)

¹ При наличии предложений об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине