

О.М. Шепель, А.О. Рассказова

ЕСТЕСТВЕННИКУМ

Томск – 2006

УДК 373.167.1653+54
ББК 22.3я72+24.1я72

Под общей редакцией С.Е. Осокиной
Рекомендовано к изданию методическим советом
Томского областного музыкального училища
им. Э.В. Денисова 27 апреля 2005 г.

2006 г. 220 с. ISBN 5-901784-02-2

В пособии изложены разделы физики, химии, биологии, экологии, предусмотренные стандартами вузов, общеобразовательной школы, музыкальных училищ и колледжей. Разделы «Физика» и «Химия» составлены О.М. Шепелем, «Биология» и «Экология» - А.О. Рассказовой. Адресовано студентам музыкальных училищ, обучающимся на базе 9 классов средней школы, и преподавателям.

Рецензент: М.Г. Минин, доктор педагогических наук, профессор, директор Института инженерной педагогики при Томском политехническом университете.

2006 г. 220 с. ISBN 5-901784-02-2

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
ВВЕДЕНИЕ	6
1. ФИЗИКА	8
1.1. Основные понятия физики	8
1.2. Электрическое поле	14
1.2.1. Пример решения задачи по теме раздела 1.2	16
1.2.2. Задачи по теме раздела 1.2. для самостоятельного решения	18
1.3. Магнитное поле	18
1.3.1. Вектор магнитной индукции и сила Лоренца	18
1.3.1.1. Примеры решения задач по теме раздела 1.3.1.	22
1.3.1.2. Задачи по теме раздела 1.3.1. для самостоятельного решения	25
1.3.2. Вращение заряженной частицы в потоке магнитной индукции	25
1.3.2.1. Примеры решения задач по теме раздела 1.3.2.	27
1.3.2.2. Задачи по теме раздела 1.3.2. для самостоятельного решения	28
1.3.3. Вихревое электрическое поле	29
1.3.3.1. Примеры решения задач по теме раздела 1.3.3.	32
1.3.3.2. Задачи по теме раздела 1.3.3. для самостоятельного решения	33
1.4. Электромагнитные волны	34
1.4.1. Примеры решения задач по теме раздела 1.4.	35
1.4.2. Задачи по теме раздела 1.4. для самостоятельного решения	37
1.5. Гравитационное поле	37
1.5.1. Примеры решения задач по теме раздела 1.5.	39
1.5.2. Задачи по теме раздела 1.5. для самостоятельного решения	39
1.6. Акустическое (звуковое) поле	40
1.6.1. Примеры решения задач по теме раздела 1.6.	43
1.6.2. Задачи по теме раздела 1.6. для самостоятельного решения	44
1.7. Краткие итоги рассмотрения разделов 1.1.-1.6.	45
1.8. Элементы теории относительности	45
1.8.1. Пример решения задачи по теме раздела 1.8.	50
1.8.2. Задачи по теме раздела 1.8. для самостоятельного решения	51
1.9. Элементы термодинамики	52
1.9.1. Энтальпия	52
1.9.2. Энтропия	53
1.9.3. Энергия Гельмгольца и энергия Гиббса	54
1.9.4. Критерии возможности самопроизвольного протекания процесса	55
1.9.5. Третий закон термодинамики	56
1.9.6. Примеры решения задач по теме раздела 1.9.	56
1.9.7. Задачи по теме раздела 1.9. для самостоятельного решения	58
2. ХИМИЯ	59
2.1. Основные понятия химии	59
2.2. Эквивалент и молярная масса эквивалента	61
2.2.1. Задачи по теме раздела 2.2. для самостоятельного решения	65
2.2.2. Закон эквивалентов. Следствие закона эквивалентов	66
2.2.2.1. Примеры решения задач по теме раздела 2.2.2.	70
2.2.2.2. Задачи по теме раздела 2.2.2. для самостоятельного решения	71
2.3. Скорость химических реакций	71
2.3.1. Примеры решения задач по теме раздела 2.3.	77
2.3.2. Задачи по теме раздела 2.3. для самостоятельного решения	79
2.4. Органическая химия	80
2.4.1. Углеводороды	81
2.4.1.1. Предельные углеводороды (алканы, циклоалканы)	81
2.4.1.2. Непредельные углеводороды (алкены, алкины, алкадиены)	90
2.4.1.3. Ароматические углеводороды (арены)	96

2.4.1.3.1. Способы решения задачи по теме раздела 2.4.1.3.....	100
2.4.1.3.2. Задачи по теме раздела 2.4.1.3. для самостоятельного решения.....	103
2.4.2. Кислородсодержащие органические соединения.....	104
2.4.2.1. Спирты, альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты	104
2.4.2.2. Углеводы	113
2.4.2.3. Витамины	114
2.4.3. Азотсодержащие органические соединения	116
2.4.3.1. Амины.....	116
2.4.3.2. Аминокислоты	118
2.4.3.3. Белки	119
2.4.3.4. Аминосахара	122
2.4.3.5. Азотсодержащие гетероциклические соединения.....	123
2.4.3.6. Рибонуклеиновые кислоты.....	125
2.4.3.7. Дезоксирибонуклеиновые кислоты.....	126
3. БИОЛОГИЯ	129
3.1. Понятие «жизнь». Процессы живого организма. Уровни организации живого.	129
3.1.1. Свойства живого организма.....	130
3.1.2. Особенности метаболизма живых организмов.....	132
3.1.3. Уровни организации живого.....	133
3.2. Понятие о цитологии. Клетка.....	135
3.2.1. Химический состав клетки.....	136
3.2.1.1. Неорганические вещества	137
3.2.1.2. Органические вещества	138
3.2.2. Строение клетки	146
3.2.3. Деление клетки.....	155
3.2.4. Прокариоты и эукариоты	156
3.3. Вирусы.....	157
3.4. Размножение организмов	158
3.5. Понятие о генетике.....	160
3.5.1. Пример решения задачи по теме раздела 3.5.	163
3.5.2. Задачи по теме раздела 3.5. для самостоятельного решения	163
3.5.3. Неполное доминирование	164
3.5.3.1. Задача по теме раздела 3.5.3. для самостоятельного решения	165
3.5.4. Дигибридное скрещивание	165
3.5.5. Задача по теме раздела 3.5.4. для самостоятельного решения.....	166
3.5.6. Взаимодействие генов	167
3.5.7. Сцепленное наследование.....	167
3.5.7.1. Сцепленное с полом наследование.....	168
3.5.7.2. Задачи по теме раздела 3.5.7. для самостоятельного решения.....	169
3.5.8. Закономерности изменчивости.....	169
3.5.9. Селекция. Биотехнология. Генная инженерия.....	171
3.6. Развитие представлений об эволюции.	175
4. ЭКОЛОГИЯ	180
4.1. Факторы окружающей среды	181
4.2. Понятие о пищевых цепях.....	185
4.3. Экологическая организация природных систем	187
4.4. Экологические (трофические) пирамиды	190
4.5. Роль человека в биосфере.....	191
4.6. Глобальные экологические проблемы. Загрязнение окружающей среды	192
4.6.1. Химические загрязнения окружающей среды	195
4.6.2. Физические загрязнения.....	203
4.6.3. Биологические загрязнения	212
4.7. Санитарные аспекты загрязнения окружающей среды.....	212
ПРИЛОЖЕНИЕ	215
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	217

Предисловие

Уважаемый читатель! Предлагаемые Вашему вниманию материалы составлены на основе представлений о неразрывной целостности естественнонаучной картины мира и условности разделения всех знаний на различные отрасли науки. Книгу рекомендуется использовать при изучении естествознания, а также на уроках, физики, химии, биологии, экологии. Нумерация рисунков, таблиц и формул в ней возобновляется с началом каждого из четырёх основных разделов.

В тексте уделено очень немного внимания практическому применению тех или иных естественнонаучных законов или химических веществ. Это вызвано тем, что, по мнению авторов, содержание настоящей книги должно представлять собой не набор утилитарных сведений, предназначенных для практического использования в материальной жизни, но быть отражением фрагмента единой, величественной естественнонаучной картины мира, восприятие которой помогает взрослому человеку осмыслить своё место во Вселенной. Именно поэтому технологические аспекты естественных дисциплин, здесь почти не рассматриваются.

В целом, настоящий естественник и пособие по математике, составленное О.М. Шепелем, Н.И. Чабовской (Математика: Уч. пособие /О.М. Шепель., Н.И. Чабовская / Под ред. С.Е. Осокиной. – Томск: Томский ЦНТИ, 2006.–124 с.) следует рассматривать как две части единого естественно - математического курса и использовать их рекомендуется совместно.

ВВЕДЕНИЕ

*Постижь гармонию вселенной,
Молекул, атомов, и числ,
Познать чрез них То, что нетленно...
Быть может в этом жизни смысл?
О.М. Шепель*

Наука – это деятельность, направленная на изучение чего-либо, а также результат этой деятельности.

Исторически сложилось так, что в настоящее время все науки принято подразделять на естественные и гуманитарные. В свою очередь среди естественных наук иногда выделяют точные и описательные.



Естественная наука – это деятельность, направленная на изучение закономерностей протекания природных процессов, а также результат этой деятельности.

Гуманитарная наука – это деятельность, направленная на изучение:

- способов, особенностей, динамики социальной коммуникации (человеческого общения);
- соотношения человека и окружающей действительности, а также результат этой деятельности.

Как видно из определений, главной отличительной особенностью естественных наук, отделяющей их от наук гуманитарных, является поиск *природных закономерностей*.

Хотя некоторые научные направления классифицируют ещё как технические науки, однако, в сущности, каждое из них представляет собой причудливую смесь различных естественных наук.

Точные науки стремятся к **математическому** описанию изучаемых явлений. Описательные науки ограничиваются феноменологическими формулировками изучаемых закономерностей. Следует сразу же подчеркнуть условность такого деления – отсутствие чёткой границы, разделяющей науки описательные от точных. Например, вся современная химия основывается на периодическом законе Д.И. Менделеева, который, пока, никому не удалось представить каким-либо строгим уравнением. Тем не менее, стремление исследователей к математическому описанию любого химического процесса, позволяет относить эту дисциплину к точным наукам. Вместе с тем, традиционно считающаяся описательной биология также всё чаще прибегает к математическим формулировкам, обнаруживаемых ею закономерностей, особенно генетических.

Физика – это естественная точная наука, изучающая закономерности превращения одних видов энергии в другие.

Химия – это естественная точная наука, изучающая закономерности превращения одних веществ в другие.

Биология – это естественная описательная наука, изучающая закономерности существования живых тел.

Экология – это естественная описательная наука, изучающая закономерности взаимодействия живых организмов с окружающей средой.

Условность разделения математики и физики достаточно очевидна, поскольку взаимопревращения различных видов энергии, как правило, описывают строгими математическими уравнениями. А так как превращения одних *веществ* в другие всегда сопровождаются тепловыми эффектами, то провести чёткую границу между физикой и химией также оказывается невозможно. Вследствие этого появились даже два самостоятельных направления: физическая химия и химическая физика. Кроме того, известно, что живые тела не могут существовать, не превращая одни вещества в другие. Поэтому разделение биологии и химии следует признать весьма умозрительным. Выражением условности разделения этих двух ипостасей единой действительности является возникновение таких пограничных дисциплин как биохимия и молекулярная биология, объекты

изучения которых интересны и для биологов и для химиков. Неразрывность биологии и экологии также достаточно очевидна, поскольку невозможно изучать взаимодействие организмов с окружающей средой без знаний закономерностей существования живых тел. Таким образом, объективная естественнонаучная картина мира представляет собой одно единое целое, условное разделение которого на объекты исследования различными науками является лишь удобным инструментом познания мира.

1. Что такое наука?

2. Чем отличаются естественные науки от гуманитарных?

3. Дайте определения следующим понятиям: физика, химия, биология, экология

1. ФИЗИКА

1.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ФИЗИКИ

Одними из основополагающих понятий физики являются: энергия, сила, физическое поле.

Энергия – это количественная скалярная характеристика взаимодействия материальных объектов; (То есть, энергией может обладать только система, состоящая из двух или более компонентов). Можно выделить 5 типов взаимодействия:

- ▶ гравитационное - между массами;
- ▶ электромагнитное - взаимодействие между заряженными телами, а также электрическими и магнитными полями;
- ▶ сильное - взаимодействие нуклонов атомов, обеспечивающее их объединение в ядро (радиус действия 10^{-15} м);
- ▶ слабое – одна из форм взаимодействия элементарных частиц (за исключением фотонов), обеспечивающая распад ядер атомов и элементарных частиц¹ (радиус действия $2 \cdot 10^{-18}$ м). Слабее сильного и электромагнитного, но намного сильнее гравитационного;
- ▶ вещественно-пространственное - взаимодействие вещества с пространством. При этом подразумевается *четырёхмерное* пространство, включающее в се-

¹ Например, нейтрон может распасться на протон, электрон и электронное нейтрино.

бя не только длину, ширину и высоту, но также четвёртую составляющую – фактор времени – ct , где t – время, c – скорость света ($\approx 300\,000$ км/с).

Потенциальная энергия – это количественная характеристика взаимодействия объектов, разделённых пространством или своими поверхностями (может характеризовать взаимодействия: гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое).

Кинетическая энергия – количественная характеристика взаимодействия массы с пространством, воспринимаемая как функция скорости этой массы. Характеризует вещественно – пространственное взаимодействие.

Сила – векторная характеристика взаимодействия материальных объектов, количественно описывающая процесс расхода энергии, направленного на перемещение тела и протекающего во времени;

Энергия, израсходованная на перемещение тела, называется работой. Для формулирования определения понятия «физическое поле» необходимо уточнить представления о материи. Всю действительность многие учёные традиционно делят на материю и сознание (рис. 1).

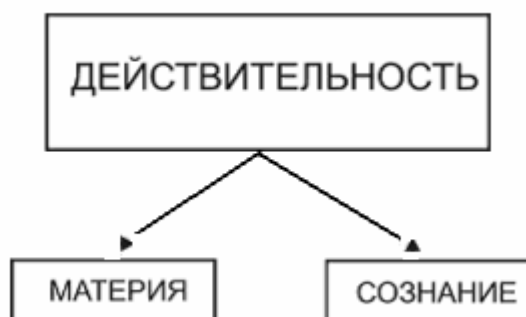


Рис. 1. Простейшая условная классификация действительности

При этом под материей подразумевается абсолютно всё, что не является сознанием. То есть, не только вещества, которые можно потрогать или взвесить, но также само пространство, в котором эти вещества находятся. И подобно тому, как любое вещество может приобретать различные свойства при неодинаковых условиях, пространство также способно проявлять разнообразные свойства. Например, вода может быть жидкой, твёрдой (лёд, снег), газообразной (пар). А пространство способно проявлять свойства электрического поля, магнитного поля, гравитационного поля.

Физическое поле – это свойство пространства или среды направленно взаимодействовать с теми или иными физическими телами.

Источником поля называется вещество, являющееся началом этого поля.

Веществом называют тела, обладающие массой покоя.

Электрическое поле – это свойство пространства направленно взаимодействовать с покоящимся электрическим зарядом.

Закономерности взаимодействия электрического поля с покоящимся электрическим зарядом сохраняются и при движении этого заряда. Электрическое поле может возникать от источника – заряженного вещества (рис. 2), а также существовать вне источника, образуя вихревые, то есть, замкнутые линии напряжённости в результате изменения магнитного поля (рис. 3), или являться компонентом невещественной волновой частицы – фотона (рис. 4).

Электрическое поле, создаваемое покоящимся зарядом, называется электростатическим полем. Раздел физики, изучающий закономерности взаимодействия покоящихся зарядов называется электростатикой. Раздел физики, изучающий закономерности взаимодействия движущихся зарядов называется электродинамикой.

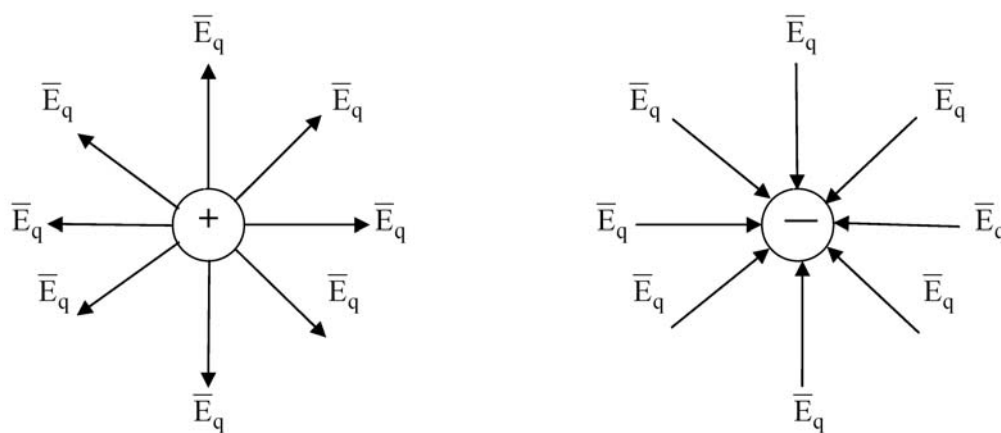


Рис. 2. Электрические поля, создаваемые покоящимися электрическими зарядами.

\vec{E}_q – напряжённость электрического поля – векторная величина, указывающая направление и величину силы, действующей на положительный заряд.

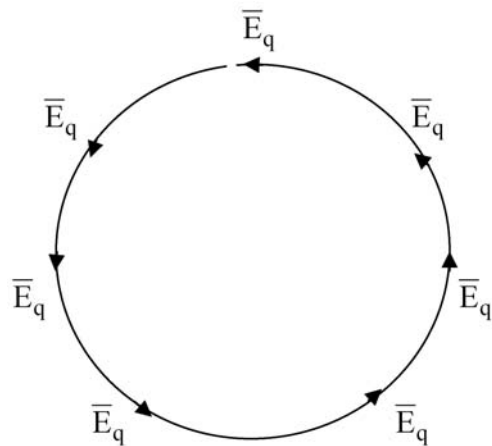


Рис.3. Вихревое электрическое поле.

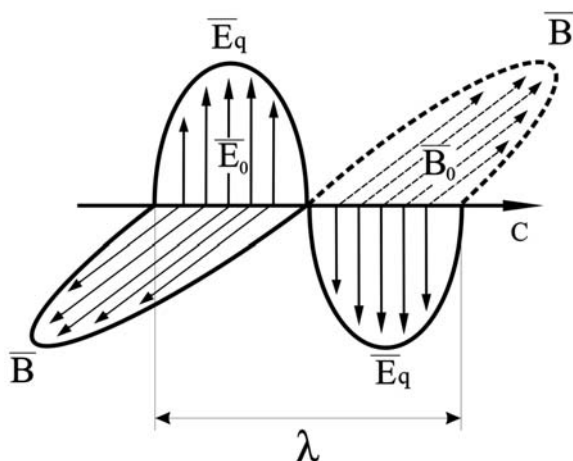


Рис. 4. Строение фотона: \vec{B} – вектор магнитной индукции, λ – длина волны – расстояние между двумя ближайшими точками волны, находящимися в одной фазе движения², \vec{E}_0 и \vec{B}_0 – амплитуды колебания³ напряжённости электрического поля и вектора магнитной индукции соответственно. Хотя в состав фотона не входит вещество, однако, поскольку электрическое и магнитное поля обладают энергией (E), то на основании уравнения открытого Альбертом Эйнштейном $E = mc^2$, где c – скорость движения фотона в вакууме ($c \approx 300\,000$ км/с) считается, что фотон обладает массой $m = E/c^2$. Но его масса покоя равна нулю.

² Под фазой движения в данном случае подразумевается значение производной dE_q/dl или dB/dl , где l – отрезок пересечения электрического и магнитного полей.

³ Амплитуда колебания – это модуль наибольшего отклонения от среднего значения колеблющейся величины.

Магнитное поле – это свойство пространства направленно взаимодействовать с движущимся по отношению к этому полю зарядом. Магнитное поле не взаимодействует с покоящимся зарядом. Причиной возникновения магнитного поля является движение электрического заряда (рис. 5). Фотоны, включающие в себя магнитное поле, могут возникать в результате колебательного движения заряженной частицы, а также вследствие других форм взаимодействия веществ.

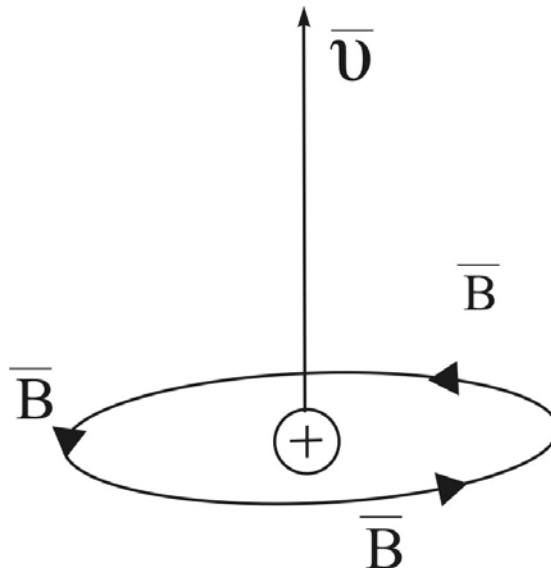


Рис. 5. Вихревое магнитное поле. \vec{u} - Вектор скорости движения положительно заряженной частицы.

Магнитное поле не имеет источников, потому что оно либо является вихревым, а, значит не имеющим ни начала, ни конца, либо существует в составе фотона - частицы не являющейся веществом (рис. 4). То есть, магнитных зарядов, подобных электрическим, в природе нет. Неразрывность единства электрического и магнитного полей принято подчёркивать термином «электромагнитное поле». Электрическое и магнитное поля считаются аспектами одного электромагнитного поля, единство которого особенно наглядно проявляется в строении фотона

Следует подчеркнуть, что фотон (рис. 4) не считается источником электрического или магнитного поля, поскольку не обладает массой покоя, а, значит, не является веществом. Фотон рассматривается в качестве мельчайшей компоненты (кванта) электромагнитной волны (рис. 6)

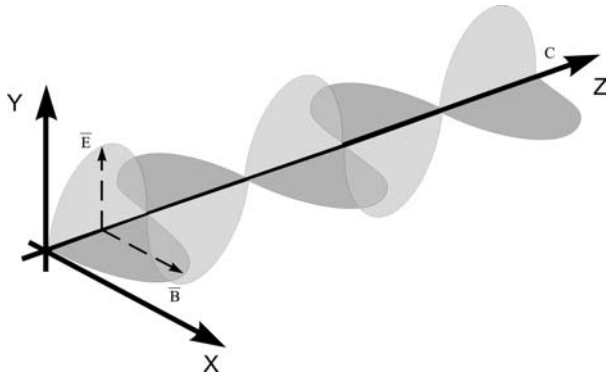


Рис. 6. Фрагмент электромагнитной волны, распространяющейся вдоль оси Z со скоростью света c : колебания \vec{B} происходят вдоль оси X , колебания \vec{E} вдоль оси Y .

Гравитационное поле – свойство пространства направленно взаимодействовать с массой. Источник гравитационного поля – другая масса (рис. 7)

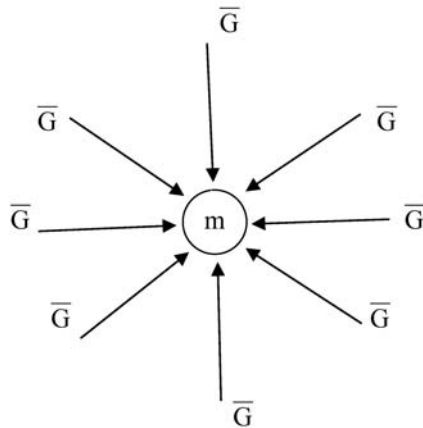


Рис. 7. Гравитационное поле, создаваемое массой m ;
 \vec{G} – напряжённость гравитационного поля.

Акустическое поле – это свойство колеблющейся среды (газообразной, жидкой или твёрдой) воздействовать на слух.

-
1. Дайте определения наиболее фундаментальным понятиям физики.
 2. Какие существуют типы взаимодействия?
 3. Объясните следующие понятия: электрическое поле, магнитное поле, гравитационное поле.

1.2. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

(Повторите определение электрического поля, приведённое в разделе 1.1.)

Электрическое поле характеризуется величиной, которую принято называть «напряжённость электрического поля» (\vec{E}_q):

$$\vec{E}_q = \frac{\vec{F}}{q}, \quad (1)$$

где \vec{F} – сила, действующая на заряд q . Поскольку сила – величина векторная, то напряжённость – тоже векторная величина, являющаяся мерой силы, действующей на заряд. При использовании абсолютного значения силы (F) в уравнении (1), частное будет представлять собой модуль напряжённости (E_q). Если источником электрического поля, действующего на заряд, является другой заряд, то F и \vec{F} будут определяться основным законом электростатики (законом Кулона), который гласит, что *сила отталкивания двух точечных неподвижных заряженных тел в вакууме прямо пропорциональна произведению зарядов q_1 и q_2 и обратно пропорциональна квадрату расстояния r между ними:*

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \text{ – скалярная форма записи закона Кулона}$$

$$\vec{F} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^3} \vec{r} \text{ – векторная форма записи закона Кулона.}$$

Где F – абсолютное значение силы отталкивания, k – коэффициент пропорциональности ($k = 9 \cdot 10^9 \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{Кл}^2$), r – расстояние между зарядами, \vec{r} – радиус-вектор, проведённый от источника электрического поля к точечному пробному электрическому заряду: $|\vec{r}| = r$.

Если заряд q_1 воспринимается как источник электрического поля, тогда заряд q_2 называется **пробным** зарядом, а напряжённость электрического поля (E_{q1} и \vec{E}_{q1}) определяется равенствами:

$$E_{q1} = \frac{F}{q_2} = k \frac{q_1}{r^2} \quad (2) \text{ – скалярная форма записи напряжённости}$$

электрического поля, формируемого зарядом q_1 ;

$$\vec{E}_{q1} = \frac{\vec{F}}{q_2} = k \frac{q_1 \vec{r}}{r^3} \quad (3) \text{ - векторная форма записи напряжённости}$$

электрического поля, формируемого зарядом q_1 .

Если в качестве источника электрического поля воспринимается заряд q_2 , то пробным зарядом является q_1 . В этом случае напряжённость электрического поля, формируемого зарядом q_2 (E_{q2} и \vec{E}_{q2}), определяется равенствами:

$$E_{q2} = \frac{F}{q_1} = k \frac{q_2}{r^2}$$

$$\vec{E}_{q2} = \frac{\vec{F}}{q_1} = k \frac{q_2 \vec{r}}{r^3}$$

Согласно (2) модуль силы, действующей на пробный заряд (q_2), можно представить произведением: $F = q_2 \cdot E_{q1}$, подобно тому как сила, воздействующая гравитационным полем Земли на массу m описывается равенством: $F_m = mg$. Развивая аналогию, можно утверждать, что подобно тому как потенциальная энергия взаимодействия (W_m) тела с Землей, поднятого над поверхностью на высоту h , определяется равенством: $W_m = mgh$, потенциальная энергия взаимодействия (W) пробного заряда q_2 с источником электрического поля, удаленным от пробного заряда на расстояние r , рассчитывается по формуле:

$$W = q_2 E_{q1} r$$

Так как $q_2 \cdot E_{q1} = F$, то

$$W = F \cdot r$$

Отношение W к величине пробного заряда называется потенциалом электростатического поля (φ)

$$\varphi = \frac{W}{q_2}$$

В системе СИ $[\varphi] = \text{Дж/Кл}$; $1 \text{ Дж/Кл} \equiv 1 \text{ В}$ (1 вольт).

Согласно (1) и последним двум равенствам

$$E_q = \frac{F}{q} = \frac{F \cdot \varphi}{W} = \frac{F \cdot \varphi}{F \cdot r} = \frac{\varphi}{r} \quad (4)$$

А поскольку $[\frac{\varphi}{r}] = \frac{B}{m}$, то в системе СИ

$$[E] = \frac{В}{м}$$

Из (4) вытекает, что

$$\varphi = E_q \cdot r$$

Потенциал, в отличие от напряжённости является скалярной величиной, характеризующей энергию электростатического поля. Разность потенциалов между двумя точками электростатического поля называется напряжением (U):

$$U = \varphi_1 - \varphi_2,$$

где φ_1 – потенциал точки, расположенной на меньшем расстоянии от источника электрического поля по сравнению с точкой потенциала φ_2 . Напряжение, создаваемое в разных точках пространства зарядом q можно рассчитывать по формуле:

$$U = kq \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right),$$

где r_1 и r_2 расстояния от различных точек пространства до заряда.

Действительно, обозначив через E' , W' , F' соответственно напряжённость, потенциальную энергию и силу, создаваемую зарядом на расстоянии r_1 , а через E'' , W'' , F'' – на расстоянии r_2 , можем записать:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = E' r_1 - E'' r_2 = k \frac{q_1}{r_1^2} r_1 - k \frac{q_1}{r_2^2} r_2 = kq_1 \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

или

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{W'}{q_2} - \frac{W''}{q_2} = \frac{q_2 E' r_1}{q_2} - \frac{q_2 E'' r_2}{q_2} = E' r_1 - E'' r_2 = kq_1 \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

или

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{W'}{q_2} - \frac{W''}{q_2} = \frac{F' r_1}{q_2} - \frac{F'' r_2}{q_2} = kq_1 \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

1.2.1. Пример решения задачи по теме раздела 1.2.

Задача

Рассчитать абсолютное значение (модуль) силы отталкивания двух точечных положительных зарядов, один из которых 0,5 Кл, а другой 1,5 Кл и находится на расстоянии 3,0 м от первого. Определить для этого расстояния:

- модуль напряжённости, создаваемый первым зарядом и модуль напряжённости, создаваемый вторым зарядом;
- координаты вектора напряжённости, создаваемого первым зарядом в точке (1; 2; 2)м;
- потенциальную энергию взаимодействия этих зарядов;
- потенциал электростатического поля, создаваемого вторым зарядом в точке нахождения первого заряда.

Вычислить напряжение, создаваемое первым зарядом, между точками, находящимися от него на расстоянии 2 см и 4 см.

Дано:

$$q_1 = 0,5 \text{ Кл}$$

$$q_2 = 1,5 \text{ Кл}$$

$$r = 3,0 \text{ м}$$

$$\vec{r} = (\vec{i} + 2\vec{j} + 2\vec{k}) \text{ м}$$

F - ?

E_{q1} - ?

E_{q2} - ?

\vec{E}_{q1} - ?

W - ?

φ - ?

U - ?

Решение:

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}, E_{q1} = \frac{F}{q_2}, E_{q2} = \frac{F}{q_1}, \vec{E}_{q1} = \frac{\vec{F}}{q_2} = k \frac{q_1 \vec{r}}{r^3}$$

$$W = F \cdot r, \varphi = \frac{W}{q_1}, U = kq_1 \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Подставив в полученные равенства значения величин, приведённых в «дано», получим:

$$F = 9,0 \cdot 10^9 \cdot \frac{0,5 \cdot 1,5}{3,0^2} = 7,5 \cdot 10^8 \text{ (Н)},$$

$$E_{q1} = \frac{7,5 \cdot 10^8}{1,5} = 5,0 \cdot 10^8 \text{ (В/м)}$$

$$E_{q2} = \frac{7,5 \cdot 10^8}{0,5} = 1,5 \cdot 10^9 \text{ (В/м)}$$

$$\vec{E}_{q1} = 9,0 \cdot 10^9 \frac{0,5}{3^3} (\vec{i} + 2\vec{j} + 2\vec{k}) = (1,7\vec{i} + 3,4\vec{j} +$$

$$+ 3,4\vec{k}) \cdot 10^8 \text{ (В/м)},$$

$$W = 7,5 \cdot 10^8 \cdot 3 = 2,25 \cdot 10^9 \text{ (Дж)}$$

$$\varphi = \frac{2,25 \cdot 10^9}{0,5} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ (В)}$$

$$U = 9,0 \cdot 10^9 \cdot 0,5 \cdot \left(\frac{1}{0,02} - \frac{1}{0,04} \right) \approx 1,1 \cdot 10^{11} \text{ (В)}$$

Ответ: F = 7,5 · 10⁸ Н;

$$E_{q1} = 5,0 \cdot 10^8 \text{ В/м};$$

$$E_{q2} = 1,5 \cdot 10^9 \text{ В/м};$$

$$\vec{E}_{q1} (1,7 \cdot 10^8 \text{ В/м}; 3,4 \cdot 10^8 \text{ В/м}; 3,4 \cdot 10^8 \text{ В/м});$$

$$W = 2,25 \cdot 10^9 \text{ Дж};$$

$$\varphi = 4,5 \cdot 10^9 \text{ В}; U \approx 1,1 \cdot 10^{11} \text{ В}$$

1.2.2. Задачи по теме раздела 1.2. для самостоятельного решения

1. Рассчитать абсолютное значение силы отталкивания двух точечных положительных зарядов, один из которых 2 Кл, а другой 3 Кл и находится на расстоянии 3,7 м от первого. Определить для этого расстояния:

- модуль напряжённости, создаваемый первым зарядом и модуль напряжённости, создаваемый вторым зарядом;
- координаты вектора напряжённости, создаваемого вторым зарядом в точке (1; 2; 3) м;
- потенциальную энергию взаимодействия этих зарядов;
- потенциал электростатического поля, создаваемого первым зарядом в точке нахождения второго заряда.

Вычислить напряжение, создаваемое вторым зарядом, между точками, находящимися от него на расстоянии 4 мм и 8 мм.

2. Определить величину зарядов, притягивающихся друг к другу на расстоянии 5 см с силой 705,6 Н, если известно, что модули этих зарядов равны.

1. Какой величиной характеризуется электрическое поле?

2. Сформулируйте закон Кулона.

3. Что такое напряжение и потенциал?

1.3. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

(повторите определение магнитного поля, приведённое в разделе 1.1.)

1.3.1. Вектор магнитной индукции и сила Лоренца

Магнитное поле характеризуется величиной \vec{B} , которую принято называть «вектор магнитной индукции».

Вектор магнитной индукции – это условная мера силы, действующей на движущийся заряд.

Вектор магнитной индукции является псевдовекторной величиной, потому что в направлении, им обозначаемом, нет никакого движения или изменения. Однако, подобно тому как, зная температуру (Т) тела, можно определить кине-

тическую энергию молекул (E_k), составляющих его⁴, с помощью вектора магнитной индукции можно определить направление и величину реальной силы, действующей на движущийся заряд. Направление силы определяется правилом левой руки:

«Если левую руку расположить так, чтобы четыре пальца ладони были направлены по движению положительно заряженной частицы, а вектор магнитной индукции входил в ладонь, то отставленный на 90° большой палец покажет направление действующей на частицу силы» (рис.8).

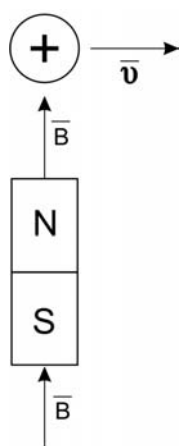


Рис. 8. Иллюстрация правила левой руки: сила, действующая на движущийся заряд, перпендикулярна плоскости рисунка и направлена на читателя.

Модуль этой силы (F_L), определяется равенством:

$$F_L = qv B \sin \alpha, \quad (5)$$

где q , v , B – абсолютные значения заряда, скорости движения заряженной частицы, вектора магнитной индукции соответственно, α – минимальный положительный угол⁵, образуемый векторами скорости и магнитной индукции. Сила, определяемая равенством (5) называется *силой Лоренца*. Согласно (5):

$$[B] = \left[\frac{F_L}{qv} \right] = \frac{H \cdot c}{Кл \cdot м} = \frac{H}{A \cdot м}; \quad 1 \frac{H}{A \cdot м} \equiv 1 \text{ Тл (Тесла)}.$$

⁴ $E_k = \frac{3}{2} kT$, где $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана

⁵ В дальнейшем будет называться просто «угол».

Математически правило левой руки записывается с помощью векторного произведения⁶:

$$\frac{\vec{F}_L}{q} = [\vec{v} \cdot \vec{B}]$$

или

$$\vec{F}_L = q[\vec{v} \cdot \vec{B}],$$

где q – алгебраическая⁷ величина движущегося заряда.

Направление самого вектора магнитной индукции определяют правилом, которое называют правилом правого винта или правилом буравчика: *Если направление движения положительного заряда совпадает с направлением поступательного движения буравчика (правого винта), то направление вращения ручки буравчика (шляпки правого винта) совпадает с направлением вектора магнитной индукции (рис. б).* При этом, абсолютное значение вектора магнитной индукции, определяется формулой:

$$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv \sin \alpha}{r^2},$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная ($1 \text{ Гн} \equiv 1 \text{ Тл} \cdot \text{м}^2/\text{А}$), r – модуль радиус-вектора \vec{r} , проведённого из движущегося заряда, в рассматриваемую точку поля, v – абсолютное значение вектора скорости движения, α – угол между векторами \vec{r} и \vec{v} . Вместо правила буравчика можно использовать строгую математическую запись:

$$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q[\vec{v} \cdot \vec{r}]}{r^3},$$

Линия, касательные к которой в любой точке являются вектором магнитной индукции называется магнитной линией. С помощью магнитных линий рис. 5 можно преобразовать в рис.9:

⁶ Подробности о векторном произведении изложены в учебном пособии Шепель О.М., Чабовская Н.И. Математика – Томск: ЦНТИ, 2006, 124 с.

⁷ То есть, может принимать как положительные, так и отрицательные значения.

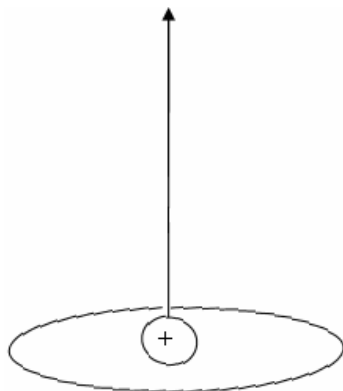


Рис. 9. Магнитные линии, создаваемые движущимся зарядом.

Следует отметить, что хотя магнитное поле является вихревым, однако, если траектория движения потока заряженных частиц представляет собой спираль с большим количеством колец, плотно прижатых друг к другу (соленоид), то внутри этой спирали магнитное поле можно считать практически однородным. То есть вектор магнитной индукции одинаков по направлению и по модулю внутри соленоида, на протяжении всей его длины (рис. 10).

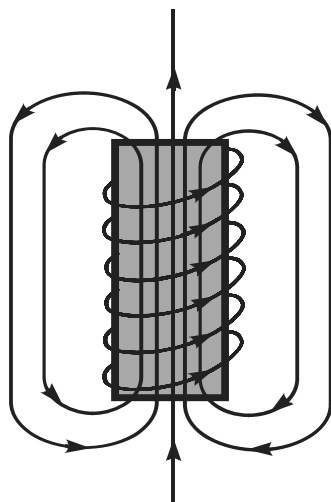


Рис. 10. Соленоид. Стрелки на спирали символизируют направление движения положительно заряженных частиц. Стрелки, выходящие из соленоида и входящие в соленоид символизируют направление вектора магнитной индукции.

Именно этим и обусловлены свойства магнитов, внутри которых непрерывно текут одинаково ориентированные замкнутые токи электронов (рис.11).

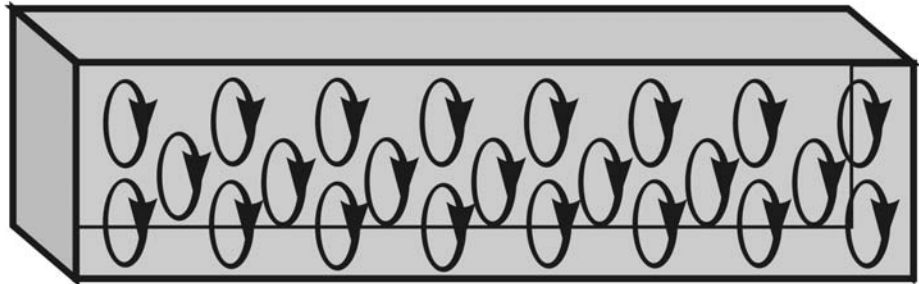


Рис. 11. Схема строения магнита.

При этом не следует забывать, что поскольку электроны являются отрицательно заряженными частицами, то на самом деле они движутся в направлении противоположном тому, которое считается направлением движения заряженных частиц и указанному на рисунках 10, 11.

1.3.1.1. Примеры решения задач по теме раздела 1.3.1.

Задача 1

Определить координаты и модуль силы Лоренца, действующей на движущийся точечный заряд 0,2 Кл, вектор скорости которого имеет координаты $(3; 2; 1)$ м/с, а координаты вектора магнитной индукции $(1; 2; 3)$ Тл.

Дано:	Решение
$q = 0,2$ Кл	$\vec{F}_L = q[\vec{v} \vec{B}]$
$\vec{v} = (3\vec{i} + 2\vec{j} + \vec{k})$ м/с	$\vec{F}_L = 0,2 \begin{vmatrix} 2 & 1 \\ 2 & 3 \end{vmatrix} \vec{i} + 0,2 \begin{vmatrix} 1 & 3 \\ 3 & 1 \end{vmatrix} \vec{j} + 0,2 \begin{vmatrix} 3 & 2 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} \vec{k} =$
$\vec{B} = (1\vec{i} + 2\vec{j} + 3\vec{k})$ Тл	$= 0,2(2 \cdot 3 - 1 \cdot 2)\vec{i} + 0,2(1 \cdot 1 - 3 \cdot 3)\vec{j} + 0,2(3 \cdot 2 - 2 \cdot 1)\vec{k} =$
$\vec{F}_L - ?$	$= (0,8\vec{i} - 1,6\vec{j} + 0,8\vec{k})$ (Н)
$F_L - ?$	$F_L = \sqrt{0,8^2 + (-1,6)^2 + 0,8^2} = \sqrt{3,84} \approx 1,96$ (Н)
	Ответ: $\vec{F}_L (0,8\text{Н}; -1,6\text{Н}; 0,8\text{Н}); F_L \approx 1,96$ Н

Задача 2

Рассчитать координаты и модуль силы Лоренца, действующей на движущийся точечный заряд 0,2 Кл, вектор скорости которого имеет координаты $(3; 2; 1)$ м/с, а координаты вектора магнитной индукции $(1,5; 1; 0,5)$ Тл. Чему равен угол между направлениями вектора магнитной индукции и вектора скорости движения заряженной частицы?

Дано:	Решение
$q = 0,2 \text{ Кл}$ $\vec{v} = (3\vec{i} + 2\vec{j} + \vec{k}) \text{ м/с}$ $\vec{B} = (1,5\vec{i} + \vec{j} + 0,5\vec{k}) \text{ Тл}$	$\vec{F}_L = q[\vec{v} \cdot \vec{B}],$ $\vec{F}_L = 0,2 \begin{vmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 0,5 \end{vmatrix} \vec{i} + 0,2 \begin{vmatrix} 1 & 3 \\ 0,5 & 1,5 \end{vmatrix} \vec{j} + 0,2 \begin{vmatrix} 3 & 2 \\ 1,5 & 1 \end{vmatrix} \vec{k} =$ $= 0,2(2 \cdot 0,5 - 1 \cdot 1)\vec{i} + 0,2(1 \cdot 1,5 - 3 \cdot 0,5)\vec{j} + 0,2(3 \cdot 1 - 2 \cdot 1,5)\vec{k} =$ $= (0\vec{i} + 0\vec{j} + 0\vec{k}) \text{ (Н)}$ $F_L = \sqrt{0^2 + 0^2 + 0^2} = 0 \text{ (Н)}$
$\vec{F}_L - ?$ $F_L - ?$ $\alpha - ?$	

Нулевое значение силы Лоренца свидетельствует о том, что $\sin \alpha = 0$, то есть, векторы \vec{v} и \vec{B} коллинеарны - лежат на одной прямой. Поскольку, значения координат обоих векторов больше 0, то эти коллинеарные векторы равнонаправлены, то есть $\alpha = 0$.

Ответ: F_L (0 Н; 0 Н; 0 Н); $F_L = 0$ Н; $\alpha = 0$.

Задача 3

Для точки $(1; 1; 1)$ м определить координаты и модуль вектора магнитной индукции, создаваемой зарядом 0,1 Кл, движущимся со скоростью $(3; 2; 1)$ м/с.

Дано:	Решение
$q = 0,1 \text{ Кл}$ $\vec{v} = (3\vec{i} + 2\vec{j} + \vec{k}) \text{ м/с}$ $\vec{r} = (\vec{i} + \vec{j} + \vec{k}) \text{ м}$	$\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{q[\vec{v} \cdot \vec{r}]}{r^3},$ <p>Поскольку $r = \sqrt{1^2 + 1^2 + 1^2} = \sqrt{3}$ (м), то</p> $\frac{\mu_0 q}{4\pi \cdot r^3} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 0,1}{4\pi(\sqrt{3})^3} \approx 1,9 \cdot 10^{-9} \text{ (Тл} \cdot \text{Кл/м}^4\text{)}$
$\vec{B} - ?$ $B - ?$	

Поэтому:

$$\begin{aligned} \vec{B} &\approx 1,9 \cdot 10^{-9} \begin{vmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix} \vec{i} + 1,9 \cdot 10^{-9} \begin{vmatrix} 1 & 3 \\ 1 & 1 \end{vmatrix} \vec{j} + 1,9 \cdot 10^{-9} \begin{vmatrix} 3 & 2 \\ 1 & 1 \end{vmatrix} \vec{k} = \\ &= 1,9 \cdot 10^{-9} (\vec{i} - 2 \vec{j} + \vec{k}) = (1,9 \vec{i} - 3,8 \vec{j} + 1,9 \vec{k}) \cdot 10^{-9} \text{ (Тл)} \end{aligned}$$

$$B = \sqrt{(1,9 \cdot 10^{-9})^2 + (-3,8 \cdot 10^{-9})^2 + (1,9 \cdot 10^{-9})^2} \approx 4,6 \cdot 10^{-9} \text{ (Тл)}$$

Ответ: $\vec{B} (1,9 \cdot 10^{-9} \text{ Тл}; 3,8 \cdot 10^{-9} \text{ Тл}; 1,9 \cdot 10^{-9} \text{ Тл}), B \approx 4,6 \cdot 10^{-9} \text{ Тл}$

Задача 4

Какова длина радиус-вектора, проведённого от заряда, рассмотренного в предыдущей задаче, к точке, в которой абсолютное значение вектора магнитной индукции составляет 4,6 мТл, если этот радиус-вектор перпендикулярен направлению движения заряда?

Дано:	Решение
$q = 0,1 \text{ Кл}$	$v = \sqrt{3^2 + 2^2 + 1^2} \approx 3,7 \text{ м/с},$
$\vec{v} = (3\vec{i} + 2\vec{j} + \vec{k}) \text{ м/с}$	$B = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{qv \sin \alpha}{r^2},$
$B = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$	$r = \sqrt{\frac{\mu_0 q v \cdot \sin \alpha}{4\pi B}}$
$\alpha = 90^\circ$	$r = \sqrt{\frac{10^{-7} \cdot 0,1 \cdot 3,7}{4,6}} \approx 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$
$r = ?$	Ответ: $r \approx 3 \cdot 10^{-3} \text{ м (3мм)}$

1.3.1.2. Задачи по теме раздела 1.3.1. для самостоятельного решения.

1. Определить координаты и модуль силы Лоренца, действующей на движущийся точечный заряд 1 Кл, вектор скорости которого имеет координаты $(2; 1; 3)$ м/с, а координаты вектора магнитной индукции $(1; -2; 1)$ Тл.
2. Определить координаты и модуль силы Лоренца, действующей на движущийся точечный заряд 0,5 Кл, вектор скорости которого имеет координаты $(6; -4; 8)$ м/с, а координаты вектора магнитной индукции $(-3; 2; -4)$ Тл. Чему равен угол α между направлениями вектора магнитной индукции и вектора скорости движения заряженной частицы?
3. Для точки $(\sqrt{2}; 1; 1)$ м определить координаты и модуль вектора магнитной индукции, создаваемой зарядом 0,3 Кл, движущимся со скоростью $(1; 1; 1)$ м/с.
4. Какова длина радиус-вектора, проведённого от заряда, рассмотренного в предыдущей задаче, к точке, в которой абсолютное значение вектора магнитной индукции составляет 3 мТл, если этот радиус-вектор перпендикулярен направлению движения заряда?

-
1. Какой величиной характеризуется магнитное поле?
 2. Сформулируйте правило левой руки и правило правого винта (буравчика).
 3. Почему соленоиды проявляют свойства магнитов?

1.3.2. Вращение заряженной частицы в потоке магнитной индукции

Ускорение заряженной частицы под действием силы Лоренца нормальное (\vec{a}_n), то есть, направлено перпендикулярно скорости её движения, а значит, изменяет направление движения частицы, но не изменяет значения модуля скорости её движения. Это приводит к тому, что заряженная частица, движущаяся в постоянном магнитном поле начинает вращаться по окружности с радиусом r . Нормальное ускорение определяется формулами:

$$a_n = \frac{v^2}{r} \text{ - скалярная форма уравнения;}$$

$$\bar{a}_n = -\frac{v^2}{r^2} \bar{r} \text{ - векторная форма уравнения,}$$

где \bar{r} – радиус-вектор, проведённый из центра окружности в точку движения, v – абсолютное значение скорости.

Согласно второму закону Ньютона ($F=ma$ или $\bar{F}=m\bar{a}$):

$$m a_n = m \frac{v^2}{r} = F_{л} = q v B \sin \alpha,$$

где q, v, B – абсолютные значения заряда, скорости движения заряженной частицы, вектора магнитной индукции соответственно, α – угол, образуемый векторами скорости и магнитной индукции.

Или

$$m \bar{a}_n = -m \frac{v^2}{r^2} \bar{r} = \bar{F}_{л} = q[\bar{v} \cdot \bar{B}],$$

Из двух последних выражений следует, что

$$r = m \frac{v^2}{q v B \sin \alpha} = m \frac{v}{q B \sin \alpha} \quad (6)$$

$$\bar{r} = -\frac{q r^2 [\bar{v} \cdot \bar{B}]}{m v^2}, \quad (7)$$

То есть, заряженная частица с массой m и зарядом q , движущаяся со скоростью v в постоянном магнитном поле, обладающем вектором магнитной индукции B , будет вращаться по окружности с радиусом, определяемым формулой (6). Направление движения вращающейся частицы, естественно, всё время меняется, поэтому и направление соответствующего радиус-вектора также непрерывно меняется и определяется равенством (7).

1.3.2.1. Примеры решения задач по теме раздела 1.3.2.1.

Задача 1

Определить радиус окружности по которой со скоростью 3 м/с вращается заряженная частица 0,2 Кл массой 0,1 г. находящаяся в магнитном поле, вектор магнитной индукции которого перпендикулярен направлению движения этой частицы и составляет 0,004 Тл.

Дано:	Решение
$v = 3 \text{ м/с}$ $q = 0,2 \text{ Кл}$ $m = 0,1 \text{ г} \equiv 10^{-4} \text{ кг}$ $B = 0,004 \text{ Тл}$	На основании (6) можем записать $r = m \frac{v}{qB \sin \alpha},$
$r = ?$	Поскольку по условию задачи вектор магнитной индукции перпендикулярен направлению движения заряженной частицы, то $\sin \alpha = 1$. Поэтому в данном случае $r = m \frac{v}{qB}$ $r = \frac{3 \cdot 10^{-4}}{0,2 \cdot 4 \cdot 10^{-3}} = 3,75 \cdot 10^{-1} \text{ м}$ Ответ: $r = 3,75 \cdot 10^{-1} \text{ м}$

Задача 2

Установить координаты радиус-вектора заряда 0,5 Кл, вращающегося в магнитном поле по окружности радиусом 0,86 мм и обладающего массой 0,3 г, для момента времени, при котором координаты скорости приобрели значения $\overline{(1;2;3)}$ м/с. При этом $\overline{B} = (3;2;1)$ Тл.

Дано:	Решение
$q = 0,5 \text{ Кл}$ $r = 0,86 \text{ мм} \equiv 8,6 \cdot 10^{-4} \text{ м}$ $m = 0,3 \text{ г} \equiv 3 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$ $\vec{v} = (\vec{i} + 2 \vec{j} + 3 \vec{k}) \text{ м/с}$ $\vec{B} = (3 \vec{i} + 2 \vec{j} + \vec{k}) \text{ Тл}$	<p>На основании (7) можем записать</p> $\vec{r} = - \frac{qr^2 [\vec{v} \cdot \vec{B}]}{mv^2}$ <p>Поскольку $v^2 = 1^2 + 2^2 + 3^2 = 14 \text{ (м}^2/\text{с}^2)$, то</p> $\frac{qr^2}{mv^2} = \frac{0,5 \cdot 8,6^2 \cdot 10^{-8}}{3 \cdot 14 \cdot 10^{-4}} \approx 8,8 \cdot 10^{-5} \text{ (Кл} \cdot \text{с}^2/\text{кг}) = C$
$\vec{r} - ?$	<p>Поэтому:</p> $\vec{r} \approx - C \begin{vmatrix} 2 & 3 \\ 2 & 1 \end{vmatrix} \vec{i} - C \begin{vmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 3 \end{vmatrix} \vec{j} - C \begin{vmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 2 \end{vmatrix} \vec{k} =$ $= - C (2 \cdot 1 - 3 \cdot 2) \vec{i} - C (3 \cdot 3 - 1 \cdot 1) \vec{j} - C (1 \cdot 2 - 2 \cdot 3) \vec{k} = (3,5 \cdot 10^{-4} \vec{i} - 7,0 \cdot 10^{-4} \vec{j} + 3,5 \cdot 10^{-4} \vec{k}) \text{ (м)}.$

Ответ: $\vec{r} (3,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}; -7,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}; 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ м})$.

1.3.2.2. Задачи по теме 1.3.2. для самостоятельного решения

1. Определить массу заряда 0,4 Кл, вращающегося со скоростью 5 м/с по окружности диаметром 1 м, которая перпендикулярна магнитному полю с $B = 4 \text{ Тл}$.
2. Установить координаты радиус-вектора заряда 0,3 Кл, вращающегося в магнитном поле по окружности радиусом 1,76 м и обладающего массой 0,9 г, для момента времени, при котором координаты скорости приобрели значения $(3; 1; 2) \text{ м/с}$. При этом $\vec{B} (0,005; 0,007; 0,009) \text{ Тл}$.

Почему заряженная частица, движущаяся в постоянном магнитном поле вращается по окружности?

1.3.3. Вихревое электрическое поле

Подобно тому, как движущийся электрический заряд создаёт вихревое магнитное поле, направление вектора индукции которого определяется правилом *правого* винта (рис. 6), переменное⁸ магнитное поле создаёт вихревое электрическое поле (рис.12), направление напряжённости которого определяется правилом *левого* винта:

Если направление увеличения вектора магнитной индукции совпадает с направлением поступательного движения левого винта, то направление вращения шляпки левого винта совпадает с направлением вектора напряжённости электрического поля.

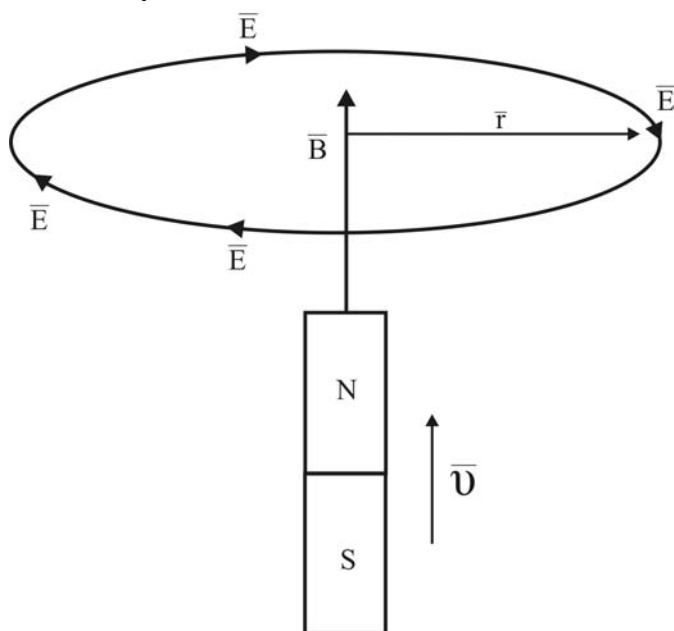


Рис.12. Вихревое электрическое поле. Замкнутый контур напряжённости электрического поля перпендикулярен плоскости рисунка.

⁸ Под переменным магнитным полем подразумевается магнитное поле, значение вектора магнитной индукции которого изменяется со временем в конкретном направлении за счёт движения магнита или изменения силы тока. Например, в точке пересечения векторов \vec{B} и \vec{r} (рис.12) оно (значение) увеличивается в направлении движения магнита. А внутри соленоида (рис.10) его можно увеличить усилением электрического тока.

Возникновение вихревого электрического поля под действием переменного магнитного поля называется явлением электромагнитной индукции (индукцией). Само вихревое электрическое поле, возникшее под действием магнитного поля, называется индуцированным электрическим полем.

На практике, переменное магнитное поле нередко получают изменением силы тока в соленоиде (рис.10). Экспериментально вихревое электрическое поле можно обнаружить с помощью металлического (например, алюминиевого) кольца (проводящего контура) внутрь которого вносится магнит (рис.13).

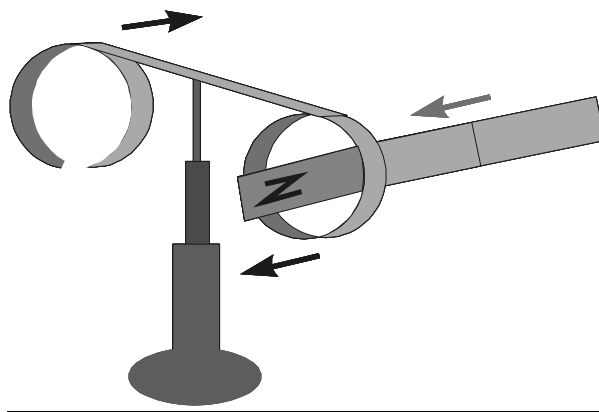


Рис.13. Иллюстрация возникновения индукционного тока.

Как видно из рисунка 13 вихревое электрическое поле, вызванное движением магнита внутрь кольца, приводит к возникновению электрического тока в проводящем контуре (индукционного тока) и вектору магнитной индукции, направленному из кольца против движения магнита. Кольцо становится подобным магниту, обращённому одноимённым полюсом к приближающемуся магниту. Одноимённые же полюсы отталкиваются. Поэтому кольцо от магнита будет отталкиваться, а стержень, свободно вращающийся вокруг вертикальной оси, поворачиваться. При движении магнита из кольца направление электрического тока в проводящем контуре сменится на противоположное также как и направление вектора магнитной индукции. В результате кольцо к магниту станет притягиваться. При движении внутрь кольца южного полюса магнита поведение стержня с кольцами окажется тем же самым. Электрический ток, возникающий

под действием индуцированного электрического поля называется *индукционным током*. Русским физиком Э.Х. Ленцем впервые было сформулировано общее правило определения направления индукционного тока. Согласно правилу Ленца возникающий в замкнутом контуре индукционный ток своим магнитным полем противодействует тому изменению магнитного потока, которым он вызван. Важно отметить, что если магнит внести в другое (разрезанное) кольцо, то электрического тока в нём не возникнет и стержень не повернётся.

Работу по перемещению единичного положительного заряда вдоль замкнутого контура называют электродвижущей силой (ЭДС):

$$\mathcal{E} = E \cdot 2\pi r,$$

где E – абсолютное значение вектора \vec{E} , замкнутого в форме окружности с радиусом r .

Размерность ЭДС та же, что у потенциала и напряжения (вольты).

При этом установлено, что электродвижущая сила индукции (\mathcal{E}_i) определяется равенством:

$$\mathcal{E}_i = - \frac{d\Phi}{dt}, \quad (8)$$

где $\frac{d\Phi}{dt}$ – скорость изменения магнитного потока Φ через площадь S ,

$$\Phi = BS \cos\alpha,$$

α – угол между вектором магнитной индукции и нормалью (перпендикуляром) к плоскости S . Единицей магнитного потока является вебер, $1\text{Вб} \equiv 1\text{Тл} \cdot 1\text{м}^2$.

Знак «минус» в равенстве (8) означает, что:

- ▶ индуцированное вихревое электрическое поле совершает работу, противоположную по знаку работе, совершаемой переменным магнитным полем – вектор \vec{V} индукционного тока противоположен направлению изменения вектора магнитной индукции переменного магнитного поля;
- ▶ направление вектора напряжённости определяется *против* правила буравчика, то есть по правилу *левого* винта.

Если скорость изменения магнитного потока на измеряемом отрезке времени Δt – постоянна, то равенство (8) может быть записано в интегральной форме:

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

где $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1$

Сила индукционного тока (I), измеряемая в амперах (А), определяется равенством :

$$I = \frac{|\mathcal{E}_i|}{R},$$

где R – сопротивление проводящего контура, $[R] = \text{Ом}$.

1.3.3.1. Примеры решения задач по теме раздела 1.3.3.

Задача 1.

Определить ЭДС индукции в контуре проводника, если за три секунды магнитный поток в этом контуре равномерно уменьшился на 0,6 Вб.

Дано:	Решение
$\Delta t = 3 \text{ с}$	$\dot{\mathcal{E}}_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$ $\dot{\mathcal{E}}_i = - \frac{(-0,6)}{3} = 0,2 \text{ (В)}$
$\Delta\Phi = -0,6 \text{ Вб}$	
$\dot{\mathcal{E}}_i - ?$	
	Ответ: $\dot{\mathcal{E}}_i = 0,2 \text{ (В)}$

Задача 2

Магнитный поток, пронизывающий контур проводника равномерно увеличился с 1,4 Вб до 2 Вб и при этом ЭДС индукции оказалась равной – 1,2 В. Найти время изменения магнитного потока и силу индукционного тока, если сопротивление проводника 0,24 Ом.

Дано:	Решение
$\Phi_1 = 1,4 \text{ Вб}$	$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}, \text{ следовательно } \Delta t = - \frac{\Delta\Phi}{\mathcal{E}_i} = - \frac{\Phi_2 - \Phi_1}{\mathcal{E}_i}$
$\Phi_2 = 2 \text{ Вб}$	
$\mathcal{E}_i = -1,2 \text{ В}$	$I = \frac{ \mathcal{E}_i }{R},$
$R = 0,24 \text{ Ом}$	
$\Delta t - ?$	$\Delta t = - \frac{2 - 1,4}{(-1,2)} = 0,5 \text{ (с)},$
$I - ?$	
	$I = \frac{1,2}{0,24} = 5 \text{ А}$
	<p>Ответ: $\Delta t = 0,5 \text{ с}; I = 5 \text{ А}$</p>

1.3.3.2. Задачи по теме раздела 1.3.3. для самостоятельного решения

1. На сколько изменился магнитный поток за 5 секунд, если в течение этого времени электродвижущая сила равнялась $-0,9 \text{ В}$? Увеличивался магнитный поток или уменьшался?
2. Магнитный поток, пронизывающий контур проводника, равномерно уменьшался с 3 Вб до $0,5 \text{ Вб}$ и при этом ЭДС индукции оказалась равной 2 В . Найти время изменения магнитного потока и сопротивление проводящего контура, в котором сила индукционного тока оказалась равной $0,05 \text{ А}$.

-
1. Сформулируйте правило левого винта.
 2. Что такое индукция?
 3. Как можно доказать экспериментально возникновение индуцированного электрического поля?
 4. В чём заключается правило Ленца?
 5. Что такое ЭДС?

1.4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

При взаимодействии электрических и магнитных полей, образующихся при колебательном движении электрического заряда, возникает *электромагнитная волна* (рис. 7), состоящая из фотонов (рис. 5) и бегущая по всем направлениям от колеблющегося заряда. При этом энергия одного фотона (E), описывается равенством:

$$E = h\nu, \quad (9)$$

где h – постоянная Планка:

$$h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж/Гц},$$

ν – частота колебаний электромагнитной волны, то есть количество колебаний (N) электромагнитного поля, совершаемых в единицу времени в данной точке пространства:

$$\nu = \frac{N}{t},$$

$[\nu] = \text{Гц}$, $1\text{Гц} \equiv 1\text{с}^{-1}$. Величина, обратная ν называется периодом колебаний (T) и представляет собой промежуток времени, через который колеблющаяся система возвращается к исходной фазе:

$$T = 1/\nu$$

Установлено, что для электромагнитных волн:

$$\nu = \frac{c}{\lambda}, \quad (10)$$

где c – скорость движения фотона, (в вакууме $c \approx 300\,000 \text{ км/с}$), которую иногда называют скоростью света, λ – длина электромагнитной волны (рис. 5). В прозрачных средах (воздух, вода, стекло, алмаз) скорость света меньше, чем в вакууме – определяется природой среды и длиной падающей электромагнитной волны. Длина электромагнитной волны в этих средах также уменьшается, но частота остаётся неизменной (10). Следует подчеркнуть, что одной и той же длине электромагнитной волны в одной и той же среде соответствует только одно значение амплитуд E_0 и B_0 .

Поскольку, направление колебаний электрической и магнитной волн фотона перпендикулярно направлению его движения (поперёк), то электромагнитную волну относят к *поперечным* волнам.

Направление движения фотона можно определить по правилу буравчика (правого винта):

Если направление движения фотона совпадает с направлением поступательного движения буравчика (правого винта), то направление вращения ручки буравчика (шляпки правого винта) совпадает с направлением поворота от вектора \vec{E} к вектору \vec{B} .

Электромагнитные волны с $4 \cdot 10^{-7} \text{ м} \leq \lambda \leq 8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ воспринимаются человеком как свет. Поэтому нередко их называют световыми волнами. Причём, если $\lambda = 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$, то свет фиолетовый, а если $\lambda = 8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$, то свет красный.

В интервале $4 \cdot 10^{-7} \text{ м} < \lambda < 8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ человеческий глаз воспринимает всевозможные оттенки синего, голубого, зелёного, жёлтого и оранжевого цветов. Поток всевозможных световых волн, включающий в себя фотоны со всеми значениями от $4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ до $8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$, воспринимается белым цветом. Хотя в прозрачных средах, скорость распространения световой волны и её длина меняются, однако, поскольку частота остаётся неизменной, то восприятие человеческим глазом также остаётся неизменным.

Излучения электромагнитных колебаний с $\lambda > 8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ называются: инфракрасным излучением, радиоволнами и низкочастотными колебаниями (перечислены в порядке возрастания λ).

Излучения электромагнитных колебаний с $\lambda < 4 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ называются: ультрафиолетовым излучением, рентгеновским излучением и гамма излучением (перечислены в порядке убывания).

1.4.1. Примеры решения задач по теме раздела 1.4.

Задача 1

Определить цвет, который увидит наблюдатель, если его глаза воспринимают электромагнитную волну с энергией фотона $2,475 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

Дано:	Решение
$E = 2,475 \cdot 10^{-19}$ Дж	$E = h\nu,$
$\lambda - ?$	$\nu = \frac{c}{\lambda},$
	$E = \frac{hc}{\lambda}$
	$\lambda = \frac{hc}{E}$
	$\lambda = 6,6 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 / 2,475 \cdot 10^{-19} = 8 \cdot 10^{-7}$ (м)
	Электромагнитная волна с $\lambda = 8 \cdot 10^{-7}$ м воспринимается человеческим зрением как красный цвет.
	Ответ: наблюдатель увидит красный цвет

Задача 2

Во сколько раз изменится (увеличится или уменьшится) длина электромагнитной волны, падающей в воду, если скорость её распространения в воде составляет 225 564 км/с.

Дано:	Решение
$\nu = 225564$ км/с	$\nu = \frac{c}{\lambda}, \lambda = \frac{c}{\nu}$ - длина электромагнитной волны в воздухе
$\lambda / \lambda_{\nu} - ?$	$\lambda_{\nu} = \frac{v}{\nu}$ - длина электромагнитной волны в воде
	$\lambda / \lambda_{\nu} = c / v$
	$\lambda / \lambda_{\nu} = \frac{300000}{225564} \approx 1,33$
	Ответ: длина электромагнитной волны при падении в воду уменьшится в 1,33 раза

1.4.2. Задачи по теме раздела 1.4. для самостоятельного решения

1. Определить длину электромагнитной волны, воспринимаемой наблюдателем, если энергия её фотона составляет $4,95 \cdot 10^{-19}$ Дж.
2. Увидит ли человек электромагнитную волну, частота колебаний которой составляет 10^{13} Гц?
3. Приближается фотон к наблюдателю или удаляется от него, если минимальный угол поворота от вектора магнитной индукции к вектору напряжённости этого фотона направлен относительно наблюдателя против часовой стрелки?

-
1. При каких условиях возникает электромагнитная волна?
 2. Сформулируйте правило определения направления движения фотона.
 3. Что такое световые волны?

1.5. ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ

(повторите определение гравитационного поля, приведённое в разделе 1.1.)

Одной из основных количественных характеристик гравитационного поля, создаваемого массой, служит его *напряжённость* – векторная величина \vec{G} (рис.8), равная отношению силы \vec{F} гравитационного поля к массе (m), испытывающей воздействие этой силы.

$$\vec{G} = \vec{F}/m \text{ – векторная форма равенства}$$

$$G = F/m \text{ – скалярная форма равенства}$$

То есть, напряжённость гравитационного поля можно воспринимать как силу этого поля, действующую на единицу массы. В свою очередь, согласно второму закону Ньютона:

$$\vec{F} = m \vec{a}, \text{ или}$$

$$F = ma,$$

где \vec{a} и a вектор ускорения и абсолютное значение ускорения соответственно. Поэтому

$$\vec{G} = m \vec{a} / m = \vec{a}, \text{ или}$$

$$G = ma/m = a$$

Таким образом, под действием сил гравитационного поля свободная материальная точка приобретает ускорение, равное напряжённости этого поля.

Кроме того, сила взаимодействия между массами подчиняется закону всемирного тяготения И. Ньютона:

Между всякими двумя материальными точками действуют силы взаимного притяжения, которые прямо пропорциональны массам точек (m_1, m_2) и обратно пропорциональны квадрату расстояния (r) между ними:

$$F = \gamma \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

где γ – гравитационная постоянная ($6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$)

Значит, напряжённость гравитационного поля создаваемая массой m_1 может определяться равенством:

$$G_1 = \frac{F}{m_2} = \gamma \frac{m_1}{r^2}$$

или в векторной форме:

$$\vec{F} = -\gamma \frac{m_1 m_2}{r^3} \vec{r}$$

$$\vec{G}_1 = -\gamma \frac{m_1}{r^3} \vec{r},$$

где \vec{r} – радиус-вектор, направленный от массы, воспринимаемой как источник гравитационного поля к пробной массе.

Потенциальная энергия взаимодействия ($E_{\text{п}}$) масс m_1 и m_2 определяется равенством:

$$E_{\text{п}} = -\gamma \frac{m_1 m_2}{r}.^9$$

Ньютоновским гравитационным потенциалом (ϕ_1) массы m_1 называется отношение $E_{\text{п}}/m_2$, которое наряду с напряжённостью также является характеристикой гравитационного поля:

⁹ Знак «минус» в данном случае означает, что при расходовании этой энергии, работа будет совершаться против радиус-вектора, направленного от источника гравитационного поля к пробной массе.

$$\varphi_1 = -\gamma \frac{m_1}{r}$$

1.5.1. Примеры решения задач по теме раздела 1.5.

Задача 1

Во сколько раз сила отталкивания (F_o) превышает силу притяжения (F_{Π}) точечных зарядов по 0,1 Кл с равными массами по 0,1 г.

Дано:	Решение
$q_1 = q_2 = 0,1 \text{ Кл}$ $m_1 = m_2 = 0,1 \text{ г} \equiv 10^{-4} \text{ кг}$ $F_o / F_{\Pi} - ?$	$F_o = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}, F_{\Pi} = \gamma \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ $F_o / F_{\Pi} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} : \gamma \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \cdot \frac{r^2}{\gamma \cdot m_1 \cdot m_2} = \frac{k \cdot q_1 \cdot q_2}{\gamma \cdot m_1 \cdot m_2}$ $F_o / F_{\Pi} = \frac{k = 9 \cdot 10^9 \cdot 0,1 \cdot 0,1}{6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-4}} = 1,35 \cdot 10^{26}$ Ответ: сила отталкивания превышает силу притяжения в $1,35 \cdot 10^{26}$ раз.

Задача 2

Оценить массу Земли, если известно, что её средний радиус 6371 км, а вблизи поверхности ускорение свободного падения составляет $9,8 \text{ м/с}^2$.

Дано:	Решение
$R = 6371 \text{ км} \equiv 6371 \cdot 10^3 \text{ м}$ $a = 9,8 \text{ м/с}^2$ $M - ?$	$a = G = \gamma \frac{M}{R^2}$ $M = aR^2 / \gamma$ $M = 9,8 \cdot 6371^2 \cdot 10^6 / 6,67 \cdot 10^{-11} \approx 6,0 \cdot 10^{24} \text{ кг}$ Ответ: $M \approx 6,0 \cdot 10^{24} \text{ кг}$

1.5.2. Задачи по теме раздела 1.5 для самостоятельного решения

1. Оцените абсолютное значение силы притяжения своего тела к земле, если ускорение свободного падения (g) равно $9,8 \text{ м/с}^2$.

2. Рассчитайте силу притяжения между Землёй и луной, а также между Землёй и солнцем, если расстояние до луны составляет 384 400 км, а до солнца 149 миллионов километров. Масса луны $7,35 \cdot 10^{22}$ кг, а масса солнца $2 \cdot 10^{30}$ кг. Оцените напряжённость гравитационного поля, создаваемого луной в точке расположения Земли и напряжённость гравитационного поля, создаваемого солнцем в этом же месте.
3. Оцените абсолютные значения:
 - ньютоновского гравитационного потенциала земли у её поверхности;
 - потенциальной энергии взаимодействия Земли и своего тела.
4. Запишите в виде формулы зависимость ϕ_1 от G_1 .

1. Какая величины являются характеристиками гравитационного поля?

2. Сформулируйте закон всемирного тяготения.

1.6. АКУСТИЧЕСКОЕ (ЗВУКОВОЕ) ПОЛЕ

Акустика – это учение о звуке.

Акустическое поле – это свойство колеблющейся среды (газообразной, жидкой или твёрдой) воздействовать на слух. При этом, под колебаниями подразумевают чередующиеся во времени сжатия и разрежения среды в виде *продольной* волны (рис. 14), вызванные каким либо источником.



Рис. 14 Иллюстрация продольного колебания среды, состоящей из отдельных частиц (молекул)

Продольная волна характеризуется периодическими изменениями свойств, происходящими *вдоль* распространения волны. В данном случае периодически изменяется плотность среды. А, поскольку давление (p), оказываемое воздухом на барабанную перепонку уха пропорционально плотности воздуха (ρ):

$$p = \rho RT$$

(R - универсальная газовая постоянная, T – температура).

то, именно периодическое изменение этого давления и воспринимается как звук. В отличие от электромагнитного поля, возникновение акустического поля в *вакууме* невозможно. Графическое изображение колеблющейся среды представляет собой **поперечную** волну (рис.15).

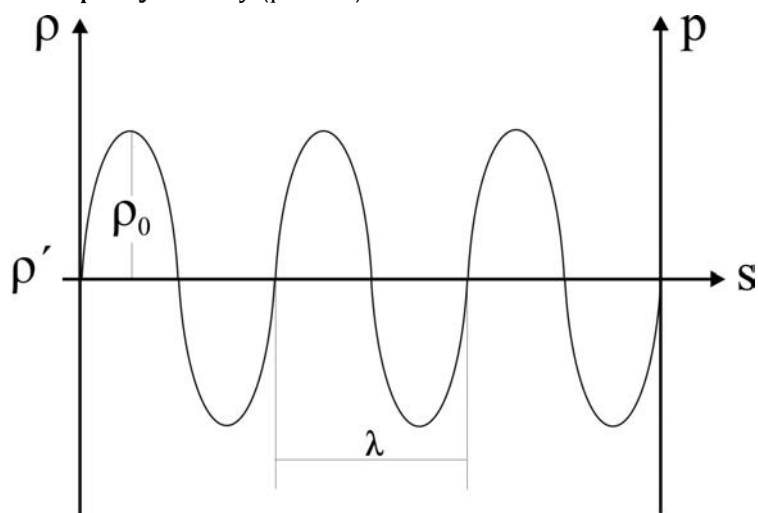


Рис. 15. Зависимость плотности среды (ρ) и давления (p) от расстояния (S) до источника звука; ρ' – среднее значение плотности среды, λ – длина волны, ρ_0 – амплитуда колебания.

Аналогично выглядит зависимость плотности среды и давления *от времени* для произвольно выбранной точки акустического поля (рис. 16).

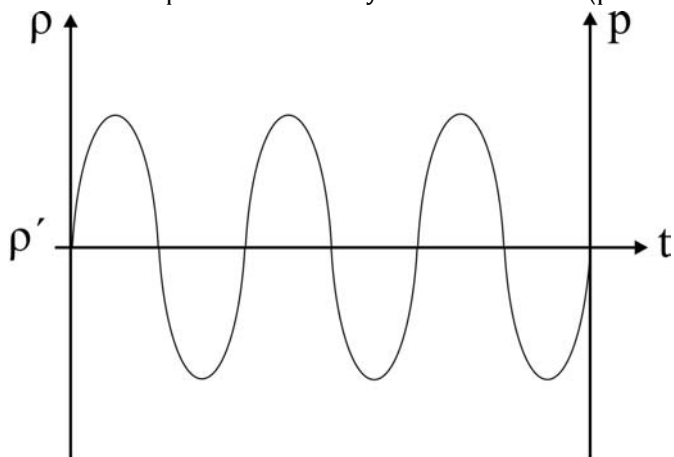


Рис. 16. Зависимость плотности среды и давления от времени (t).

Колебания, представленные на рис. 16 подчиняются уравнению:

$$\rho = \rho_0 \sin 2\pi (t/T - S/\lambda),$$

где T – период колебаний (время единичного колебания).

Периодические изменения во времени физической величины, происходящие по закону синуса или косинуса, называются *гармоническими колебаниями*. В реальных звукопроводящих средах амплитуда колебаний уменьшается с расстоянием вплоть до полного исчезновения (рис. 17) из-за рассеивания энергии волны. Такие колебания называются *затухающими в пространстве*.

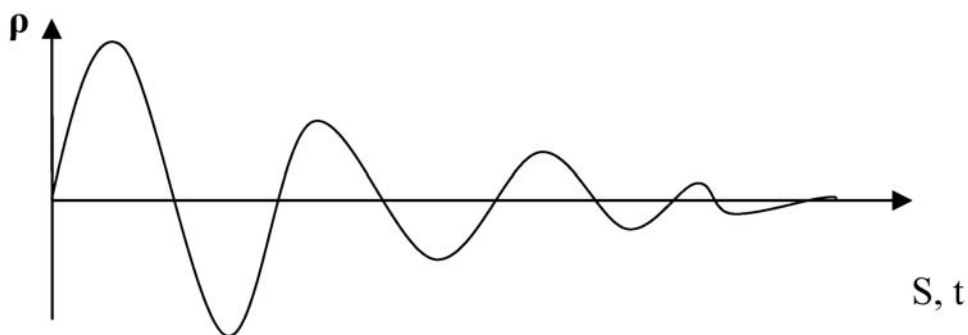


Рис. 17 Иллюстрация затухающего колебания.

Кроме того, амплитуда колебаний среды может уменьшаться и со временем, в результате затухания колебаний источника звука, например, струны. Такие колебания называются *затухающими во времени*. Нередко один и тот же звук является затухающим и во времени и в пространстве.

Следует подчеркнуть, что не всегда колебание воздуха воздействует на слух, а только в том случае, если его частота находится в пределах от 17 Гц до 20000 Гц. Колебания с частотой выше 20000 Гц называются *ультразвуком*, ниже 17 Гц – *инфразвуком*. Ультразвук и инфразвук человеческим слухом не воспринимаются. Колебания среды, частота которых лежит в пределах от 17 Гц до 20000 Гц называются *акустическими колебаниями* или *звуковыми волнами*. Человеческий слух наиболее восприимчив к частоте около 3500 Гц. При этом под частотой (ν) подразумевается количество колебаний (n) плотности среды, совершаемых в единицу времени в данной точке:

$$v = \frac{n}{t} = \frac{1}{T}$$

Скорость распространения продольных колебаний среды очень зависит от агрегатного состояния среды: наибольшая – в твёрдых веществах, наименьшая – в газах. Например, скорость звука (v) при 15°C приблизительно равна:

- в воздухе 340 м/с;
- в воде 1450 м/с;
- в стали 4980 м/с.

Для всех звуковых волн, распространяющихся в любой среде, справедливо равенство:

$$\lambda \cdot \nu = v$$

В отличие от *электромагнитной* волны (см. раздел 1.4.), амплитуда одной и той же длины *звуковой* волны может меняться в одной и той же звукопроводящей среде (например, в воздухе). Причём, увеличение амплитуды воспринимается слухом как усиление громкости. Вместе с тем, одна и та же амплитуда звуковых волн *различной* длины воспринимается как различная громкость. Высота звука определяется частотой волны - чем больше частота колебаний источника звука, тем выше издаваемый им звук. Диапазону человеческого голоса соответствует интервал частот от 70 до 12000 Гц.

1.6.1. Примеры решения задач по теме раздела 1.6.

Задача 1

Определить на каком расстоянии от наблюдателя сверкнула молния, если он услышал гром через 3 секунды, после того как увидел вспышку.

Дано:	Решение
$t = 3 \text{ с}$	<p>Каким бы ни было искомое расстояние S, но время t', затраченное светом на его преодоление, можно считать равным нулю:</p> $t' = S/c = S_m / 300\,000\,000 \text{ м/с} \approx 0 \text{ с.}$ <p>Поэтому, практически, временной интервал между моментом восприятия света и моментом восприятия звука и есть время распространения возникшего звука до наблюдателя. Полагая скорость звука v в воздухе равной 340 м/с, можно утверждать, что</p> $S = v t = 340 \cdot 3 = 1020 \text{ (м).}$
$S - ?$	
	<p>Ответ: $S = 1020 \text{ (м)}$.</p>

Задача 2

Оценить максимальную и минимальную длины волн, которые может воспринять человеческий слух. Услышит ли дрессировщик звук, издаваемый дельфином, если длина этой звуковой волны составляет 1 см .

Дано:	Решение
$v_1 = 17 \text{ Гц}$	$v = v/\lambda,$ $\lambda_1 = v/v_1,$ $\lambda_2 = v/v_2$
$v_2 = 20000 \text{ Гц}$	
$\lambda = 1 \text{ см} \equiv 1 \cdot 10^{-2} \text{ м}$	$\lambda_1 = 340 / 17 = 20 \text{ (м)}$ – максимальная длина волны $\lambda_2 = 340 / 20\,000 = 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ (м)}$ – минимальная длина волны $1 \cdot 10^{-2} < 1,7 \cdot 10^{-2} < 20$ Следовательно, звук с $\lambda = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ является ультразвуком.
$\lambda_1 - ?$	
$\lambda_2 - ?$	
	<p>Ответ: $\lambda_1 = 20 \text{ м}$; $\lambda_2 = 0,017 \text{ м}$; дрессировщик не услышит звука, издаваемого дельфином.</p>

1.6.2. Задачи по теме раздела 1.6. для самостоятельного решения

1. Оценить длину звуковой волны, издаваемой певичей, если частота колебаний волны равна 5000 Гц .
2. Сколько колебаний сделает за 15 секунд звуковая волна, если её частота составляет 1000 Гц ?
3. Определить давление, которое будет оказывать звуковая волна на барабанную перепонку через $50,5 \text{ секунд}$ после включения источника звука с

$\nu = 3,4 \cdot 10^3$ Гц, находящегося на расстоянии 170 м от воспринимающего уха. Через какие минимальные интервалы времени это давление будет повторяться? Скорость звука считать равной 340 м/с.

1. Что такое акустическое поле?

2. Чем отличаются звуковые волны от инфразвука и ультразвука?

1.7. КРАТКИЕ ИТОГИ РАССМОТРЕНИЕ РАЗДЕЛОВ 1.1. - 1.6.

1. *Электрическое поле* воздействует на электрический заряд и порождается электрическим зарядом. Вихревое электрическое поле порождается переменным магнитным потоком.
2. *Магнитное поле* воздействует на движущийся электрический заряд. Вихревое магнитное поле порождается поступательным движением электрического заряда.
3. *Электромагнитная волна* порождается колебательным движением заряда.
4. *Гравитационное поле* воздействует на массу и порождается массой.
5. *Акустическое поле* воздействует на слух и порождается колебаниями источника, помещённого в звукопроводящую среду.

1.8. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

(Повторите определения энергии и типов взаимодействия, приведённые в разделе 1.1.)

Особенностью теории относительности, разработанной Альбертом Эйнштейном, является подход к рассмотрению пространства и времени как к единой *четырёхмерной* протяжённости¹⁰, включающей в себя помимо длины, ширины, высоты, четвёртую размерность – фактор времени ct , где c – скорость света ($c \approx 300\,000$ км/с), t – время. То есть время рассматривается в качестве количественной характеристики расстояния, преодолеваемого светом (фотонами).

¹⁰ Иногда такую протяжённость называют четырёхмерным *континуумом*

Теория относительности включает в себя два основных раздела, использующих этот общий для них подход:

Специальная теория относительности (СТО).

Общая теория относительности (ОТО).

СТО рассматривает инерциальные системы, т.е. покоящиеся или движущиеся друг относительно друга равномерно, без ускорения. ОТО рассматривает неинерциальные системы, т.е. движущиеся с ускорением \bar{a} относительно друг друга, в том числе, под действием сил гравитационного поля. При этом, СТО оказывается частным случаем ОТО, при котором $\mathbf{a} = 0$ м/с².

Для СТО А. Эйнштейн сформулировал два постулата:

1. Все процессы природы протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчёта.
2. Скорость света в вакууме одинакова для всех инерциальных систем отсчёта. Она не зависит ни от скорости источника, ни от скорости приёмника светового сигнала.

На основании этих постулатов оказалось возможным применить преобразования Лоренца, согласно которым:

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad \tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

где

- l_0 – длина покоящегося тела,
- l – длина этого же тела, движущегося со скоростью v относительно наблюдателя в направлении длины;
- ▶ τ_0 – время между двумя событиями (например, два удара метронома), происходящими в системе отсчёта, покоящейся относительно наблюдателя, измеряющего это время;
- ▶ τ – время между теми же двумя событиями, протекающими в системе отсчёта, движущейся со скоростью v относительно наблюдателя, измеряющего это время.

- ▶ m_0 – масса покоящегося тела (масса покоя);
- ▶ m – масса тела движущегося относительно наблюдателя со скоростью v .

Обратите внимание, что при $v \ll c$, $l = l_0$, $\tau = \tau_0$; $m = m_0$. То есть, наблюдаемые нами в повседневной жизни размеры тел, их массы, промежутки времени между событиями, на самом деле являются таковыми лишь потому, что скорости воспринимаемых нами материальных процессов намного меньше скорости света. **Значения величин, применяемые в механике Ньютона, оказываются частным случаем значений этих величин, реализуемым при $v \ll c$.** Из преобразований Лоренца вытекает закон сложения скоростей:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + v_1 v_2 / c^2}, \text{ где,}$$

v_1 – скорость движения объекта (например, реки) относительно наблюдателя (например, находящегося на острове) (рис.18)

v_2 – скорость движения другого объекта (например, лодки) относительно первого объекта (реки)

v – скорость движения другого объекта (лодки) относительно наблюдателя.

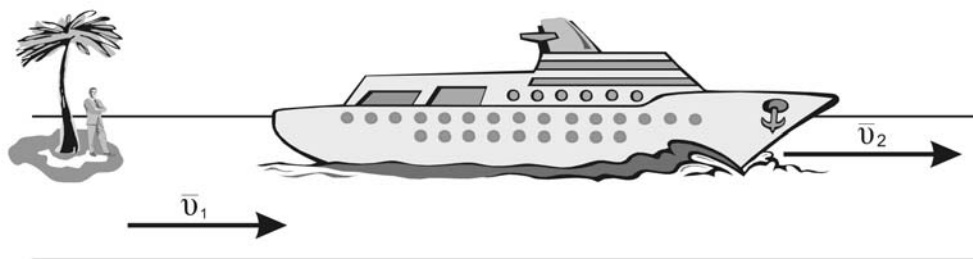


Рис. 18. Иллюстрация закона сложения скоростей объектов, движущихся в одном направлении.

Интересно отметить, что в случае движения объектов в противоположных направлениях (рис.19) закон сложения скоростей можно использовать, подразумевая, что v_1 и v_2 абсолютные значения скоростей этих объектов отно-

сительно неподвижного наблюдателя, а v – абсолютное значение скорости их движения относительно друг друга ¹¹.

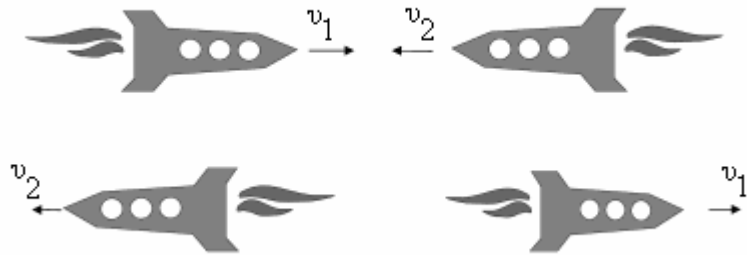


Рис.19. Иллюстрация закона сложения скоростей объектов, движущихся в противоположных направлениях.

Если $v_1 \ll c$ и $v_2 \ll c$, то $v = v_1 + v_2$. То есть, закон сложения скоростей, применяемый в механике Ньютона, оказывается частным случаем более общего закона сложения скоростей специальной теории относительности. Кроме того, на основании этих же преобразований А. Эйнштейном было открыто соотношение между массой покоя и энергией (E), заключённой в ней:

$$E = m_0 c^2$$

или в общем случае

$$E = mc^2 = \frac{m_0 \dot{t}^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{\dot{t}^2}}}$$

то есть, согласно СТО энергия массы покоя характеризует взаимодействие массы вещества с фактором времени – четвёртой составляющей пространственной

⁹ Действительно, из закона сложения скоростей вытекает, что $v_2 = \frac{v - v_1}{1 - v v_1 / c^2}$.

Однако, если v и v_1 имеют противоположные знаки, то $v_2 = \frac{|v| + |v_1|}{1 + |v| \cdot |v_1| / c^2}$.

протяжённости. В целом, **все законы механики Ньютона, оказываются частным случаем более общих законов специальной теории относительности.**

Согласно ОТО гравитационные взаимодействия масс, вызывающие их ускоренное движение по отношению друг к другу суть проявление искривления четырёхмерного пространства. Фотон в таком пространстве постоянно меняет своё направление по отношению к направлению первоначальному. Чем больше масса, тем сильнее возле неё пространственная кривизна, воспринимаемая нами как тяготение. Например, луч света далёкой звезды, проходя рядом с солнцем - самым мощным источником гравитационного поля солнечной системы - отклоняется от своего направления на угол, достаточно значительный, чтобы быть точно измеренным земными наблюдателями. То есть, А. Эйнштейн показал, что свойства гравитационного поля являются свойствами *кривизны* пространственно-временного континуума. Им было теоретически предсказано, а, затем другими исследователями экспериментально подтверждено, что:

1. Пространство обладает определённой геометрической структурой (в данном случае кривизной)
2. Свойства гравитационного поля являются результатом структурирования пространства (искривления).

При этом уравнения ОТО переходили в уравнения СТО если пространственно-временной континуум рассматривался как линейная протяжённость. **СТО оказалась частным случаем ОТО, реализуемым при искривлённости равной нулю.**

В этой ситуации естественно было предположить, что свойства электрического и магнитного полей также являются результатом какого-то структурирования пространства, сложного геометрического скручивания его. Нахождение строгого доказательства этого предположения А. Эйнштейн считал ближайшей программой минимум для современной ему физики. Однако, не было предела научной дерзости Великого учёного. Создатель специальной и общей теории относительности мечтал также открыть уравнения, которые объясняли бы все свойства всех элементарных *частиц* геометрическими свойствами пространства. Эту задачу он считал программой максимум. Теория, которая позволяла бы решить программу минимум и программу максимум, будучи даже не созданной, получила название «ЕДИНАЯ ТЕОРИЯ ПОЛЯ (ЕТП)». **При этом, ОТО стала бы частным случаем, фрагментом ЕТП.**

Хотя А. Эйнштейну не удалось решить задачу построения такой теории, однако, сама формулировка задачи, а также создание специальной и общей тео-

рии относительности обессмертили имя великого учёного. Следует отметить, что построение теории единого поля существенно усложнилось ещё при жизни выдающегося физика, после открытия ядерных взаимодействий (сильных и слабых), которые также необходимо было представить как результат геометрического структурирования пространства.

После А.Эйнштейна многие физики прилагали огромные усилия для построения единой теории поля. В результате, на сегодняшний день существует несколько её вариантов, написанных разными авторами. Но ни один из этих вариантов нельзя считать общепризнанным. Наиболее смелой на сегодняшний день является *теория физического вакуума*, разработанная Геннадием Ивановичем Шиповым (1938 г.р.) – академиком Российской Академии Естественных Наук. Г.И. Шипов с помощью своей теории не только решает программы минимум и максимум, выдвинутые А. Эйнштейном, но даже само сознание и процессы мышления предлагает воспринимать как свойства структурированного пространства (вакуума). Благодаря принципу *всеобщей* относительности, рассматривающей относительность не только поступательного, но и вращательного движения, теория физического вакуума позволяет воспринимать абсолютно все явления действительности – и процессы материальные и деятельность сознания – аспектами проявления единого неразрывного целого – вакуума. Таким образом, **теория единого поля оказалась частным случаем, частью теории физического вакуума**. Станет ли эта теория общепризнанной – решать будущим поколениям искателей истины. То есть, Вам!

1.8.1. Пример решения задачи по теме раздела 1.8.

Задача 1

Определить сколько ударов сделает метроном на земле за период времени между двумя ударами такого же метронома, находящегося на космическом корабле, летящем с около световой скоростью:

$$y = \frac{\sqrt{8}}{3} c, \text{ где } c - \text{ скорость света, } v - \text{ скорость корабля.}$$

Дано:

$$y = \frac{\sqrt{8}}{3} c$$

$$\tau_0 = 2$$

τ - ?

Решение

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \tau = \frac{2}{\sqrt{1 - \frac{8 \cdot c^2}{9c^2}}} = 6$$

Ответ: метроном на земле сделает 6 ударов.

1.8.2. Задачи по теме раздела 1.8. для самостоятельного решения

1. С какой скоростью относительно друг друга движутся два фотона, летящие в противоположных направлениях?
2. На каком расстоянии от места старта окажутся через 5 секунд после старта ракета и фотон, выпущенные из одной точки в противоположных направлениях, если скорость ракеты $\sqrt{5} \cdot 10^7$ м/с. Какое при этом окажется расстояние между ракетой и фотоном для наблюдателя с места старта и для наблюдателя с ракеты?
3. Определить с какой скоростью должен лететь космический корабль, чтобы время в нём протекало в 2 раза медленнее, чем на земле.
4. Космический корабль пролетает мимо неподвижной орбитальной станции со скоростью $\sqrt{6,75} \cdot 10^8$ м/с. Тело командира корабля ориентировано вдоль направления полёта. Определить рост и массу командира космического корабля относительно орбитальной станции, если для экипажа космического корабля рост командира 180 см, масса 80 кг.
5. С какой скоростью в противоположных направлениях движутся два объекта относительно друг друга если скорость одного из них равна c , а другого c/n , где $n \geq 1$?
6. Оценить энергию покоя своего тела. Выразить её в Дж и кДж.
7. Два космических корабля летят навстречу друг другу. Абсолютное значение скорости одного из них 200 000 км/с, другого 230 000 км/с. Каково абсолютное значение скорости кораблей относительно друг друга?
8. Скорость течения реки относительно неподвижного острова составляет v м/с. Определить скорость движения фотона, летящего в направлении течения реки, относительно самой реки и относительно острова.
9. Определить координаты скорости движения ракеты относительно неподвижного наблюдателя, если координаты её скорости относительно кометы $(1/3c; 1/2c; 2/3c)$, а координаты скорости кометы относительно наблюдателя $(1/2c; 2/3c; 1/3c)$, где c – скорость света.

1. В чём состоит особенность подхода А. Эйнштейна к рассмотрению пространства и времени? Каковы постулаты его специальной теории относительности?

2. Какую связь устанавливает общая теория относительности между гравитационным полем и геометрическими свойствами пространства?

1.9. ЭЛЕМЕНТЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

1.9.1. Энтальпия

(Ещё раз повторите определения типов взаимодействия, приведённые в разделе 1.1.)

Термодинамика – это раздел физики, изучающий закономерности движения теплоты и внутренней энергии макроскопических тел.

Физические системы, в которых рассматриваются закономерности движения теплоты и внутренней энергии макроскопических тел называются термодинамическими системами. В известном уравнении состояния идеального газа Менделеева – Клапейрона:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT,$$

где p – давление, V – объём, m – масса, μ – молярная масса, R – универсальная газовая постоянная ($R \approx 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$), T – абсолютная температура, величина pV представляет собой энергию взаимодействия идеального газа с внешней средой.

Однако, реальная термодинамическая система, помимо энергии взаимодействия с окружающей средой обладает целым набором других видов энергии:

- энергией массы покоя каждой молекулы ($E_0 = mc^2$);
- кинетической энергией молекул ($E_k = mv^2/2$);
- потенциальной энергией взаимодействия молекул (E_n);
- энергией ядерного взаимодействия между нуклонами атомов ($E_{я}$);
- энергией взаимодействия между электронами и ядрами ($E_{э}$) и т.д.

Сумму всех, без исключения, видов энергии термодинамической системы называют энтальпией (H):

$$H = U + pV, \quad (11)$$

где U – внутренняя энергия термодинамической системы, представляющая собой сумму всех видов энергии за исключением энергии взаимодействия с внешней средой pV . Для жидких и твёрдых веществ $H = U$.

1.9.2. Энтропия

Согласно *первому закону термодинамики*:

Изменение внутренней энергии системы (U) при переходе её из одного состояния в другое равно сумме работы внешних сил (A) и количества теплоты (Q), переданного системе:

$$\Delta U = A + \Delta Q,$$

Если внешние силы никакой работы не совершают, то

$$\Delta U = \Delta Q$$

При этом, как известно:

$$\Delta Q = cm (T_2 - T_1) = \Delta T cm,$$

где c – удельная теплоёмкость системы, m – масса, T_1 – первоначальная температура, T_2 – конечная температура. Поскольку температура T идеального газа пропорциональна средней кинетической энергии (E_k) его молекул:

$$E_k = \frac{3}{2} kT,$$

где k – постоянная Больцмана ($k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К), то можно утверждать, что внутренняя энергия увеличивается за счёт превращения подводимого тепла в кинетическую энергию молекул. Но в реальных системах не всё подводимое тепло превращается в кинетическую энергию молекул.

Более того, внутренняя энергия системы может меняться и без изменения температуры. Например, при 100°C нагреваемая вода, продолжая получать теплоту, не увеличивает свою температуру, но превращается в пар. При 0°C охлаждаемая вода, продолжая отдавать теплоту, не понижает свою температуру, но превращается в лёд. Изменение внутренней энергии системы, протекающее при неизменной температуре, называется изменением энтропийной энергии (Q_Δ) При этом:

$$\Delta Q_\Delta = T \Delta S, \quad (12)$$

где S – изменение энтропии системы. Для абсолютного значения энтропийной энергии системы можно записать:

$$Q_\Delta = TS,$$

$$\text{или } S = \frac{Q_\Delta}{T},$$

где S – энтропия системы, $[S] = \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$. То есть, энтропия – это мера энтропийной

энергии. Помимо теплоты, подводимой или отводимой при постоянной температуре, к изменению энтропии приводит также изменение температуры и объёма системы, согласно равенству:

$$\Delta S = 2,3n \cdot C \lg(T_2 / T_1) + 2,3n \cdot R \lg(V_2 / V_1) \quad (13)$$

S – изменение энтропии идеального газа в количестве n моль при изменении температуры от T_1 до T_2 и объёма от V_1 до V_2 ,

C – молярная теплоёмкость при постоянном объёме¹²,

R – универсальная газовая постоянная.

1.9.3. Энергия Гельмгольца и энергия Гиббса

На основании (13) и (12) можно утверждать, что энтропийная энергия, наряду с кинетической энергией, характеризует вещественно-пространственное взаимодействие. Действительно, к изменению энтропии приводит как изменение количества вещества, так и изменение объёма (пространства) системы. Поскольку увеличение энтропийной энергии приводит к возрастанию беспорядочности движения молекул (превращение льда в жидкость, жидкости в пар), то энтропию термодинамической системы принято считать *мерой беспорядка* её молекулярной организации. Кроме того, было установлено, что энтропийная составляющая внутренней энергии не может быть превращена в работу. Поэтому, иногда энтропийную энергию системы называют *обесцененной (или связанной) энергией*, а энтропию, соответственно, мерой обесцененной энергии. Таким образом, внутреннюю энергию U можно представить в виде суммы двух составляющих:

$$U = F + TS, \quad (14)$$

где TS – энтропийная энергия, F – сумма всех остальных составляющих внутренней энергии, которая называется энергией Гельмгольца. На основании (11) и (14) энтальпию (H) можно представить суммой трёх составляющих:

$$H = F + TS + pV$$

Если ввести обозначение

$$F + pV = G, \text{ то } H = G + TS,$$

¹² Молярная теплоёмкости газа, определённая при постоянном давлении может отличаться от молярной теплоёмкости газа, определённой при постоянном объёме

где величина G называется свободной энергией или энергией Гиббса.

$$G = H - TS$$

Для изотермических процессов:

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

1.9.4. Критерии возможности самопроизвольного протекания процесса

Согласно одной из формулировок *второго закона термодинамики*: **энтропия замкнутой системы¹³, при любых происходящих в ней процессах не убывает¹⁴:**

$$\Delta S \geq 0.$$

Если процесс необратим¹⁵, то $\Delta S > 0$, если обратим¹⁶, то $\Delta S = 0$.

Таким образом, критерием возможности протекания процесса в замкнутой системе может служить знак изменения энтропии. Процесс возможен только в том случае, если знак изменения энтропии неотрицателен. Действительно, трудно представить себе систему, в которой происходило бы упорядочение без обмена энергией с внешней средой. Однако в открытых (незамкнутых) системах энтропия может убывать. Например, вода при 0°C , отдавая свою внутреннюю энергию внешней среде, превращается в лёд. Критерием возможности протекания процесса в незамкнутой системе может служить знак изменения энергии Гиббса. Процесс в незамкнутой системе возможен только в том случае, если знак изменения энергии Гиббса неположителен:

$$\Delta G \leq 0,$$

то есть

$$\Delta H - T\Delta S \leq 0$$

если $G < 0$, процесс необратим, если $G = 0$ процесс обратим. Например, для процесса замерзания воды при 0°C справедливо равенство $H = T\Delta S$, то есть уменьшение внутренней энергии системы равно уменьшению её энтропийной энер-

¹³ Замкнутыми называются системы, не обменивающиеся с окружающей средой ни энергией, ни веществом.

¹⁴ Другая формулировка этого же закона гласит, что **невозможен процесс, единственным результатом которого является передача энергии в форме теплоты от тела менее нагретого к телу более нагретому.**

¹⁵ Под необратимостью процесса подразумевается его протекание преимущественно только в одну сторону.

¹⁶ Обратимость процесса в данном случае означает его протекание в противоположных направлениях с одинаковой скоростью.

гии. Выделяющееся тепло представляет собой исключительно энергию упорядочения молекул воды в структуру льда.

$$\Delta H - T\Delta S = 0$$

$$\Delta G = 0$$

Это значит, что скорости процессов замерзания воды и таяния образующегося льда в этих условиях равны друг другу за счет того, что выделяющееся при кристаллизации тепло опять расходуется на плавление.

1.9.5. Третий закон термодинамики

Согласно одной из формулировок *третьего закона термодинамики: при абсолютном нуле температуры энтропия равна нулю.*¹⁷

То есть, при $T = 0 \text{ K}$, $S = 0$.

Следует подчеркнуть условность приведённой формулировки. На самом деле оценить значение энтропии при 0^0K невозможно в принципе. Однако было доказано, что при абсолютном нуле изотермические процессы протекают без изменения энтропии. Таким образом, значение энтропии любой системы при 0K наименьшее, относительно которого можно измерять все изменения этой величины. Хотя и условно, но практически очень удобно, это наименьшее значение энтропии считать равным нулю.

1.9.6. Примеры решения задач по теме раздела 1.9.

Задача 1

Определить на сколько изменится энтропия и энтропийная энергия одного моля идеального газа если его объём увеличить в 10 раз при постоянной температуре равной 25^0C ?

¹⁷ Другая формулировка: при любом изотермическом процессе, проведённом при абсолютном нуле температуры, *изменение* энтропии равно нулю независимо от изменения любых параметров состояния (давление, объём и т.д.)

Дано:	Решение
$n = 1$ моль	$\Delta S = 2,3n \cdot C \lg(T_2/T_1) + 2,3n \cdot R \lg(V_2/V_1)$
$\frac{V_2}{V_1} = 10$	Поскольку $T_2 = T_1$, то $\Delta S = 2,3n \cdot R \lg(V_2/V_1)$
$T_2 = T_1 = 25^\circ \text{C} \equiv 298 \text{ K}$	$\Delta S = 2,3 \cdot 1 \cdot 8,31 \cdot \lg 10 \approx 19,1 \text{ Дж/К}$
	$\Delta Q_{\text{э}} = T \Delta S$
	$\Delta Q_{\text{э}} = 298 \cdot 19,1 = 5691,8 \text{ Дж}$
$\Delta S - ?$	Ответ: $\Delta S \approx 19,1 \text{ Дж/К}$; $\Delta Q_{\text{э}} \approx 5,7 \text{ кДж}$
$\Delta Q_{\text{э}} - ?$	

Задача 2

Оценить на сколько изменится энтропия замкнутой системы, состоящей из двух одинаковых объёмов водорода с температурой 7°C и 57°C , содержащих по 2 грамма газа, если после перемешивания температура общего объёма составила 32°C . Молярную теплоёмкость водорода считать равной $20,8 \text{ Дж/моль К}$ и независимой от температуры.

Дано:	Решение
$m = 2 \text{ г} \equiv 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$	В данном случае общее возрастание энтропии обусловлено изменением энтропии двух составляющих системы, равные объёмы V каждой из которых удваиваются, то есть становятся равными $2V$.
$T_1 = 7^\circ \text{C} \equiv 280 \text{ K}$	
V	$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2$
$T_2 = 57^\circ \text{C} \equiv 330 \text{ K}$	$\Delta S_1 = 2,3n \cdot C \cdot \lg(T/T_1) + 2,3n \cdot R \cdot \lg(2V/V)$
$T = 32^\circ \text{C} \equiv 305 \text{ K}$	$\Delta S_2 = 2,3n \cdot C \cdot \lg(T/T_2) + 2,3n \cdot R \cdot \lg(2V/V)$
$C = 20,8 \text{ Дж/моль} \cdot \text{K}$	
$M = 2 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$	
$\Delta S - ?$	$\Delta S = 2,3 \cdot \frac{m}{M} (2 \cdot R \cdot \lg 2 + C (\lg \frac{\check{N}}{T_1} + \lg \frac{\check{N}}{T_2}))$
	$\Delta S = 2,3 \cdot \frac{2 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 10^{-3}} \cdot (2 \cdot 8,31 \cdot \lg 2 + 20,8 \cdot (\lg \frac{305}{280} + \lg \frac{305}{330})) \approx 11,6 \text{ Дж/К}$
	Ответ: $\Delta S \approx 11,6 \text{ Дж/К}$

1.9.7. Задачи для самостоятельного решения.

Задача

1. Замкнутая система состоит из двух газов, разделенных перегородкой (рис. 20).

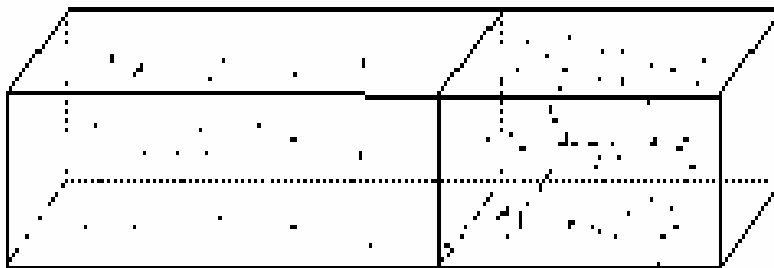


Рис. 20. Газы, разделённые перегородкой.

Первый газ в количестве 2 моль занимает объём 3 м^3 , а второй газ в количестве 3 моль занимает объём 2 м^3 . На сколько изменится энтропия системы после удаления перегородки? На сколько изменится энтропийная энергия, если процесс перемешивания газов проводить при 25°C ? Что привело к увеличению энергии этой системы, если она замкнута?

2. Определить количество газа занимающего при 25°C объём 3 л и оказывающего на стенки занимаемого им сосуда давление 10^5 Па

1. Сформулируйте три закона термодинамики.

2. Дайте определения следующих понятий: внутренняя энергия, энтальпия, энтропия, энтропийная энергия, энергия Гельмгольца, энергия Гиббса.

3. Каковы критерии возможности самопроизвольного протекания процесса для замкнутых и открытых систем?

2. ХИМИЯ

2.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ХИМИИ

(Повторите определение химии, приведённое во введении.

Подготовьте объяснение почему химия считается точной наукой)

Одними из основополагающих понятий химии являются: атом, элемент, молекула, масса, молекулярная масса, количество вещества, моль, число Авогадро, постоянная Авогадро, молярная масса, степень окисления атома, валентность, химическая связь, ковалентность. Хотя значения многих из этих терминов Вами рассматривались на предыдущих занятиях по химии, тем не менее, приведённые ниже определения рекомендуется использовать в качестве справочного материала на протяжении изучения всего настоящего курса.

Первые два понятия – атом и элемент – настолько неразрывно взаимосвязаны, что даже определяются друг через друга.

Атом – это мельчайшая нейтральная частица элемента, состоящая из положительно заряженного ядра и вращающихся вокруг него отрицательно заряженных электронов.

Элементом называется совокупность атомов с одинаковым зарядом ядра, обладающая не только химическими, но и физическими свойствами (имеются в виду: температура плавления, температура кипения, плотность, электропроводность и т.д.).

Молекула – это мельчайшая частица вещества, обладающая всеми его химическими свойствами и состоящая из одного или нескольких атомов.

Масса (m) – это мера силы (F), воздействующей на тело для придания ему единичного ускорения (a) ($m = \frac{F}{a}$)¹⁸. Масса измеряется в килограммах (кг), граммах (г), миллиграммах (мг), атомных единицах массы. (1 а.е.м. $\equiv 1,66 \cdot 10^{-27}$ кг). Иногда измеряют относительную массу, которая представляет собой безразмерную величину, численно равную а.е.м

¹⁸ Поскольку масса является источником гравитационного поля, то она также рассматривается в качестве меры напряжённости (E) создаваемого гравитационного поля на расстоянии r:

$m = E \frac{r^2}{\gamma}$, где γ – гравитационная постоянная. Хотя обе массы эквивалентны, но первая называется инертной, а вторая гравитационной.

Молекулярная масса (\bar{m}) – это масса одной молекулы.

Количество вещества – это количество молекул вещества, измеряемое в молях ($1 \text{ моль} \equiv 6,02 \cdot 10^{23}$ штук). Масса одного моля вещества измеряется в единицах массы (килограммы, граммы, миллиграммы).

$6,02 \cdot 10^{23}$ – число Авогадро;

$6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ – постоянная Авогадро, являющаяся коэффициентом пропорциональности между безразмерной единицей измерения количества (штуки) и молью;

Молярная масса (M) – это отношение массы вещества к количеству вещества, соответствующему этой массе, измеряемое в г/моль или кг/моль. Если молярная масса измеряется в г/моль, то её численное значение равно молекулярной массе измеряемой в а.е.м.

Степень окисления атома – это воображаемый заряд атома в соединении, вычисленный исходя из предположения, что соединение состоит из ионов.

Валентность атома – это количество его неспаренных электронов, взаимодействующих с электронами другого атома.

Химической связью называются силы, обусловленные взаимодействием электронов *различных* атомов и объединяющие их в одну молекулу. Под количеством связей в молекуле подразумевают число электронных пар, участвующих в формировании этих сил.

Ковалентность атома (суммарная валентность) – это сумма валентности и количества связей, образованных спаренными электронами данного атома или другого атома¹⁹.

Активной связью называется химическая связь молекулы, участвующая в протекании реакции.

1. Дайте определения основополагающих понятий химии.

2. Что такое активная связь?

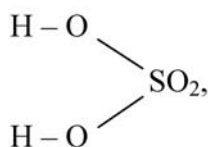
¹⁹ В молекуле $[\text{NH}_4]\text{Cl}$ валентность азота равна трём, а ковалентность – четырём.

2.2. ЭКВИВАЛЕНТ И МОЛЯРНАЯ МАССА ЭКВИВАЛЕНТА

Эквивалент молекулы сложного вещества – это условная часть молекулы, являющаяся носителем одной активной связи или одного электрона, участвующего в окислительно-восстановительном процессе.

Эквивалентная масса ($\bar{m}_{\text{э}}$) – это масса одного эквивалента.

Например, если серная кислота ($\bar{m}(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98$ а. е. м.; $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98$ г/моль), имеющая структурную формулу:



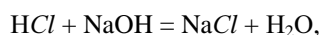
взаимодействует с NaOH по реакции:



то активность проявляют две связи H – O. Вся молекула оказывается носителем двух активных связей, а, значит, двух эквивалентов. Поэтому эквивалентом в данном случае является половина молекулы H_2SO_4 . Следовательно, $\bar{m}_{\text{э}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \bar{m}(\text{H}_2\text{SO}_4) / 2 = 49$ а.е.м. При этом молярная масса эквивалента ($M_{\text{э}}(\text{H}_2\text{SO}_4)$) для приведённой реакции рассчитывается по формуле:

$$M_{\text{э}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{M(\text{H}_2\text{SO}_4) \text{ г/моль}}{2 \text{ эквивалента}} = \frac{98}{2} \text{ г/моль} \cdot \text{экв} \text{ (грамм на моль – эквивалент)}$$

В аналогичной реакции взаимодействия NaOH с HCl молярная масса эквивалента соляной кислоты численно совпадает с молярной массой HCl:



$$M_{\text{э}}(\text{HCl}) = \frac{M(\text{HCl}) \text{ г/моль}}{1 \text{ эквивалент}} = \frac{M(\text{HCl})}{1} \text{ г/моль} \cdot \text{экв.}$$

Эквивалент молекулы простого вещества – это условная часть молекулы, являющаяся носителем одной валентности.

Например, молекула водорода состоит из двух атомов, каждый из которых обладает валентностью, равной единице. Поэтому, суммарная валентность молекулы этого простого вещества равна двум. Вся молекула оказывается носителем двух валентностей, а, значит, согласно последнему определению, двух эквивалентов. Эквивалентом водорода оказывается половина молекулы. Молярная масса эквивалента ($M_{\text{э}}(\text{H}_2)$) рассчитывается по формуле:

$$M_{\text{Э}}(\text{H}_2) = \frac{M(\text{H}_2)}{2} \text{ (г/моль·экв.)}$$

Следует подчеркнуть, что хотя молекула водорода, также как и молекула соляной кислоты, содержит только одну активную связь, однако формулы для расчёта молярных масс эквивалентов этих веществ существенно различаются, потому что одно из них является простым, а другое сложным.

В общем случае, молярные массы эквивалентов ($M_{\text{Э}}$) рассчитываются следующим образом.

Для простых веществ:

$$M_{\text{Э}}(\text{Э}_x) = \frac{M(\text{Э}_x)}{x \cdot B(\text{Э})} \text{ (г/моль·экв)} = \frac{x \cdot M(\text{Э})}{x \cdot B(\text{Э})} \text{ (г/моль·экв)} = \frac{M(\text{Э})}{B(\text{Э})} \text{ (г/моль экв)},$$

где $M_{\text{Э}}(\text{Э}_x)$ – молярная масса эквивалента простого вещества, состоящего из x атомов элемента Э; $M(\text{Э}_x)$ – молярная масса этого вещества; $M(\text{Э})$ – молярная масса атома элемента; $B(\text{Э})$ – валентность атома элемента.

Для атомов, входящих в состав молекулы сложного вещества:

$$M_{\text{Э}}(\text{Э}) = \frac{M(\text{Э})}{B(\text{Э})} \text{ (г/моль·экв)}.$$

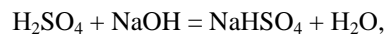
То есть, молярные массы эквивалентов простых веществ и молярные массы эквивалентов атомов элементов, входящих в состав сложного вещества, могут рассчитываться по одной и той же формуле.

Для кислот H_xA , где А – кислотный остаток:

$$M_{\text{Э}}(\text{H}_x\text{A}) = \frac{M(\text{H}_x\text{A})}{y} \text{ (г/моль·экв)},$$

где y – основность кислоты, т.е. количество ионов H^+ , принимающих участие в процессе ($y \leq x$).

Например, в реакции (1) основность серной кислоты равна двум. А для процесса:



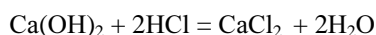
основность кислоты равна единице и не совпадает с общим количеством ионов H^+ , принимающих участие в процессе.

Для оснований $\text{Э}(\text{OH})_x$:

$$M_{\text{Э}}(\text{Э}(\text{OH})_x) = \frac{M(\text{Э}(\text{OH})_x)}{y'} \text{ (г/моль·экв).}$$

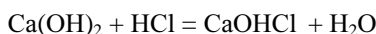
где y' – кислотность основания, т.е. количество гидроксогрупп, принимающих участие в процессе. ($y' \leq x$).

Например, для реакции:



$$M_{\text{Э}}(\text{Ca}(\text{OH})_2) = \frac{M(\text{Ca}(\text{OH})_2)}{2} \text{ (г/моль·экв).}$$

А для процесса:



$$M_{\text{Э}}(\text{Ca}(\text{OH})_2) = \frac{M(\text{Ca}(\text{OH})_2)}{1} \text{ (г/моль·экв).}$$

Для солей (Me_xA_y , где Me – металл):

$$M_{\text{Э}}(\text{Me}_x\text{A}_y) = \frac{M(\text{Me}_x\text{A}_y)}{z \cdot B(\text{Me})},$$

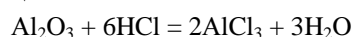
где $B(\text{Me})$ – валентность металла, z – количество атомов металла, принимающих участие в процессе ($z \leq x$).

Для оксидов ($\text{Э}_x\text{O}_y$):

$$M_{\text{Э}}(\text{Э}_x\text{O}_y) = \frac{M(\text{Э}_x\text{O}_y)}{z' \cdot B(\text{Э})} \text{ (г/моль·экв),}$$

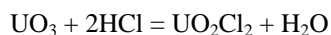
где Э – элемент или фрагмент молекулы, неизменяемый в реакции, z' – количество Э , принимающее участие в процессе.

Например, для реакции:



$$\text{Э} \equiv \text{Al}; \quad M_{\text{Э}}(\text{Al}_2\text{O}_3) = \frac{M(\text{Al}_2\text{O}_3)}{2 \cdot 3} \text{ (г/моль экв),}$$

а для реакции:

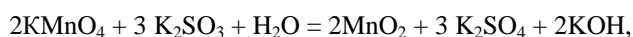


$$\text{Э} \equiv \text{UO}_2; \quad M_{\text{Э}}(\text{UO}_3) = \frac{M(\text{UO}_3)}{1 \cdot 2} \text{ (г/моль·экв),}$$

Из приведённых примеров видно, что значение молярной массы эквивалента сложных веществ зависит от конкретной реакции, в которой они при-

мают участие. А значение молярной массы эквивалента атомов, входящих в состав сложного вещества – не зависит от реакции.

Следует подчеркнуть, что рассмотренные выше формулы для нахождения молярных масс эквивалентов сложных веществ, справедливы только в том случае если эти вещества не участвуют в окислительно – восстановительном процессе. Например, в реакции



$$M_{\text{Э}}(\text{KMnO}_4) = \frac{M(\text{KMnO}_4)}{n},$$

где n – количество электронов, получаемых перманганатом калия

$$M_{\text{Э}}(\text{K}_2\text{SO}_3) = \frac{M(\text{K}_2\text{SO}_3)}{n'}$$

n' – количество электронов, отдаваемых сульфитом калия. В данном случае

$$M_{\text{Э}}(\text{KMnO}_4) = \frac{M(\text{KMnO}_4)}{3} = \frac{158}{3} \approx 52,7 \text{ (г/моль экв)}$$

$$M_{\text{Э}}(\text{K}_2\text{SO}_3) = \frac{M(\text{K}_2\text{SO}_3)}{2} = \frac{158}{2} = 79 \text{ (г/моль·экв)}$$

Обобщив, приведённые выше равенства, можно утверждать, что молярную массу эквивалента любого вещества ($M_{\text{Э}}$) рассчитывают по формуле (2):

$$M_{\text{Э}} = \frac{M}{l} \text{ (г/моль экв), (2)}$$

где M – молярная масса вещества, измеряемая в г/моль, l – количество эквивалентов, приходящееся на одну молекулу, численно равное количеству:

- валентностей (для простых веществ);
- активных связей (для сложных веществ, не участвующих в окислительно-восстановительном процессе);
- электронов, получаемых или отдаваемых молекулой (для сложных веществ, участвующих в окислительно-восстановительном процессе).

Молярный объём эквивалента

Подобно тому как молярная масса вещества (M) представляет собой отношение массы (m) к количеству этого вещества (n)

$$M = \frac{m}{n} \text{ (г/моль),}$$

а молярный объём идеального газа (V_0) – отношение объёма (V), занимаемого им при нормальных условиях ($p \approx 10^5$ Па; $t^\circ \text{C} \approx 0^\circ \text{C}$)²⁰ к количеству газа (n_r):

$$V_0 = \frac{V}{n_r} \text{ (л/моль)}$$

молярный объём эквивалента газообразного вещества ($V_{\text{э}}$) представляет собой отношение V к количеству молярных масс эквивалента $n_{\text{э}}$:

$$V_{\text{э}} = \frac{V}{n_{\text{э}}} \text{ (л/моль экв)}$$

из последних двух равенств вытекает соотношение

$$\frac{M}{M_{\text{э}}} = \frac{V_0}{V_{\text{э}}},$$

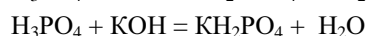
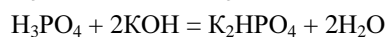
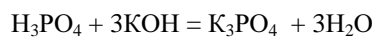
в котором все величины являются параметрами одного и того же газа.

Действительно:

$$\frac{V_0}{V_{\text{э}}} = \frac{V \cdot n_{\text{э}}}{n \cdot V} = \frac{n_{\text{э}}}{n} = \frac{m \cdot M}{M_{\text{э}} \cdot m} = \frac{M}{M_{\text{э}}}$$

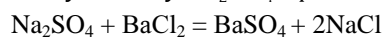
2.2.1. Задачи по теме раздела 2.2 для самостоятельного решения

1. Определить молярные массы эквивалентов соединения H_3PO_4 в реакциях:

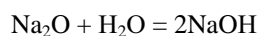
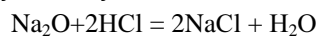


Рассчитать молярные массы эквивалентов каждого из атомов в H_3PO_4 .

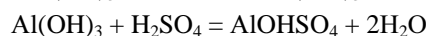
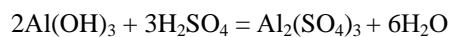
2. Определить эквивалентную массу Na_2SO_4 в реакциях:



3. Определить молярную массу эквивалента Na_2O в реакциях:



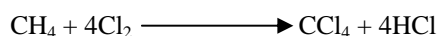
4. Определить эквивалентную массу $\text{Al}(\text{OH})_3$ в реакциях:



²⁰ $10^5 \text{Па} \approx 1 \text{атм} \equiv 760 \text{мм. рт. столба}$

5. Рассчитать молярную массу эквивалента кислорода и определить объём, занимаемый молярной массой эквивалента кислорода при нормальных условиях.

6. Определить эквивалентные массы, молярные массы эквивалента метана (CH₄) и хлора в реакции



1. Дайте определения эквиваленту молекулы сложного вещества и эквиваленту молекулы простого вещества.

2. По какой формуле можно рассчитать молярную массу эквивалента любого вещества?

3. Какое уравнение связывает молярную массу, молярный объём, молярную массу эквивалента и молярный объём эквивалента одного и того же идеального газа?

2.2.2. Закон эквивалентов. Следствия закона эквивалентов

Закон эквивалентов гласит:

Вещества взаимодействуют друг с другом равными количествами молярных масс эквивалентов:

$$n_{\text{Э}1} = n_{\text{Э}2},$$

где $n_{\text{Э}1}$ - количество молярных масс эквивалента одного вещества, $n_{\text{Э}2}$ - количество молярных масс эквивалента другого вещества, взаимодействующего с первым. Действительно, если рассчитать количества молярных масс эквивалентов взаимодействующих веществ для любой из рассмотренных выше реакций, то они окажутся равными.

Последнее равенство можно представить иначе:

$$\frac{m_1}{M_{\text{Э}1}} = \frac{m_2}{M_{\text{Э}2}} \text{ или}$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{M_{\text{Э}1}}{M_{\text{Э}2}},$$

где m_1 и m_2 – массы реагирующих веществ, $M_{Э1}$ и $M_{Э2}$ – молярные массы их эквивалентов.

Все три последние равенства являются математическими формами записи закона эквивалентов.

Согласно закону эквивалентов для реакции: $k_1A + k_2B = k_3C + k_4D$ должно выполняться

$$\frac{m(A)}{M_{Э}(A)} = \frac{m(B)}{M_{Э}(B)},$$

где $m(A)$ и $m(B)$ массы веществ А и В соответственно, $M_{Э}(A)$ и $M_{Э}(B)$ – молярные массы их эквивалентов. Или в соответствии с (2):

$$\frac{m(A) \cdot l(A)}{M(A)} = \frac{m(B) \cdot l(B)}{M(B)},$$

где $M(A)$ и $M(B)$ молярные массы веществ А и В, $l(A)$ и $l(B)$ количества активных связей в молекулах А и В соответственно.

После простейшего преобразования можно легко получить:

$$\frac{m(A)}{M(A) \cdot l(B)} = \frac{m(B)}{M(B) \cdot l(A)}$$

поскольку, в данном случае $l(B) = k_1$; $l(A) = k_2$, то:

$$\frac{m(A)}{k_1 \cdot M(A)} = \frac{m(B)}{k_2 \cdot M(B)} \quad (3)$$

Так как последнее равенство справедливо для любой пары участвующих в реакции веществ (исходных и продуктов), то можно утверждать, что в пределах одной и той же химической реакции

$$\frac{m}{kM} = \text{const}, \quad (4)$$

где $\frac{m}{kM}$ – *приведённое количество вещества*.

$$\frac{m}{kM} = \frac{n}{k},$$

где n – количество вещества

Приведённым количеством вещества называется отношение количества вещества к его стехиометрическому коэффициенту.

Равенства (3) и (4) представляют собой математические формы записи следствия закона эквивалентов, гласящего, что

приведённые количества взаимодействующих веществ равны между собой.

Согласно другому следствию закона эквивалентов

приведённые количества разных элементов одного и того же сложного вещества равны между собой.

$$\frac{m(\text{Э})}{i \cdot M(\text{Э})} = \text{const},$$

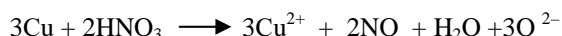
где $m(\text{Э})$ – масса или процентное содержание одного из элементов в данной навеске вещества, $M(\text{Э})$ – молярная масса этого элемента, i – индекс этого элемента

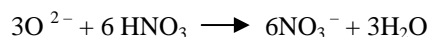
в данном веществе, величина $\frac{m(\text{Э})}{i \cdot M(\text{Э})}$ – приведённое количество элемента.

Иногда, в одной и той же реакции вещество может проявлять различные молярные массы эквивалента, что может некорректно восприниматься как нарушение закона эквивалентов. Например, при реакции разбавленной азотной кислоты с медью:



из восьми молекул азотной кислоты 2 молекулы являются окислителями, превращаясь в NO, а 6 молекул участвуют в процессе, не сопровождающемся изменением степени окисления. То есть, вся реакция делится на два взаимодействия:





Хотя, реально частица O^{2-} не существует, однако, из схемы реакции приведённой схемы видно, что в первом взаимодействии

$$M_3(\text{HNO}_3) = \frac{M(\text{HNO}_3)}{2},$$

а во втором взаимодействии

$$M_3(\text{HNO}_3) = \frac{M(\text{HNO}_3)}{1}.$$

При этом, в обоих случаях закон эквивалентов выполняется – количества молярных масс эквивалентов всех взаимодействующих веществ и частиц равны шести.

При составлении уравнений окислительно-восстановительных реакций, стехиометрические коэффициенты перед восстановителем (k_B), отдающим n_B электронов, и перед окислителем (k_O), принимающим n_O электронов, можно рассчитывать с помощью следующих формул:

$$k_B = \frac{n_O + m_B}{N} = \frac{k'_B}{N} \quad (6)$$

$$k_O = \frac{n_B + m_O}{N} = \frac{k'_O}{N}, \quad (7)$$

где m_B – количество молекул восстановителя, не участвующих в восстановлении, m_O – количество молекул окислителя, не принимающих участия в окислении, N – максимальное число, которому кратны все коэффициенты уравнения. Например, для реакции (5)

$$n_O = 3; \quad n_B = 2; \quad m_O = 6; \quad m_B = 0; \quad N = 1$$

поэтому

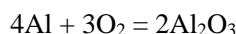
$$k_B = (3 + 0) / 1 = 3;$$

$$k_O = (2 + 6) / 1 = 8$$

2.2.2.1. Примеры решения задач по теме раздела 2.2.2.

1. Пользуясь следствием закона эквивалентов, определить массу алюминия, израсходованного на получение 5,1 г оксида алюминия, если молярная масса алюминия 27 г/моль, молярная масса оксида алюминия 102 г/моль.

Прежде, чем приступить к решению подобной задачи целесообразно записать уравнение реакции



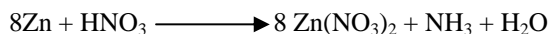
<p>Дано:</p> <p>$m(\text{Al}_2\text{O}_3) = 5,1 \text{ г}$</p> <p>$M(\text{Al}) = 27 \text{ г/моль}$</p> <p>$M(\text{Al}_2\text{O}_3) = 102 \text{ г/моль.}$</p> <p>$k_1 = 4 \text{ моль}$</p> <p>$k_2 = 2 \text{ моль}$</p> <hr style="border: 0.5px solid black;"/> <p>$m(\text{Al}) - ?$</p>	<p>Решение:</p> <p>Согласно следствию закона эквивалентов:</p> $\frac{m(\text{Al})}{k_1 \cdot M(\text{Al})} = \frac{m(\text{Al}_2\text{O}_3)}{k_2 M(\text{Al}_2\text{O}_3)} \text{ или}$ $m(\text{Al}) = \frac{k_1 \cdot m(\text{Al}_2\text{O}_3) \cdot M(\text{Al})}{k_2 M(\text{Al}_2\text{O}_3)}$ $m(\text{Al}) = \frac{4 \cdot 5,1 \cdot 27}{2 \cdot 102} = 2,7 \text{ г}$ <p>Ответ: $m(\text{Al}) = 2,7 \text{ г}$</p>
---	--

2. Пользуясь равенствами 6 и 7 расставить коэффициенты в схеме реакции взаимодействия цинка с очень разбавленной азотной кислотой:

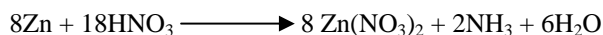


Решение

В данной реакции окислителем является азотная кислота, в которой атом азота принимает 8 электронов, то есть $n_0 = 8$. Поскольку $m_b = 0$, то $k'_b = 8$. Окисленной формы цинка в правой части уравнения также должно быть 8 атомов.



Из последней схемы видно, что $m_0 = 16$; $n_b = 2$. Следовательно $k'_0 = 2 + 16 = 18$. Восстановленной формы азота в правой части уравнения должно быть только два атома



Все коэффициенты можно сократить на 2, то есть в данном случае $N = 2$. Поэтому, окончательно $k_b = 4$; $k_0 = 9$



2.2.2.2. Задачи по теме раздела 2.2.2. для самостоятельного решения.

1. Пользуясь следствием закона эквивалентов, определить массу сульфита натрия, необходимую для полного превращения 0,2 моль перманганата калия в сульфат марганца по реакции:



Сколько грамм воды выделится в результате этой реакции?

2. Определить массу бихромата калия, необходимую для полного превращения 49,8 г. иодида калия в йод по реакции:



Сколько грамм йода образуется в результате этой реакции?

Решить задачу двумя способами – пользуясь пропорциями и пользуясь следствием закона эквивалентов.

3. Пользуясь следствием закона эквивалентов, определить химическую формулу оксида меди, если в нём содержится 89 массовых процента меди, и 11 массовых процента кислорода.

4. Пользуясь равенствами 6 и 7 расставить коэффициенты в схеме реакции:



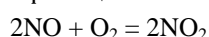
-
1. Сформулируйте закон эквивалентов и следствия закона эквивалентов.
 2. Что такое приведённое количество вещества?
 3. Выведите следствия закона эквивалентов из закона эквивалентов.

2.3. СКОРОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

Раздел химии, изучающий скорости химических реакций называется химической кинетикой.

Если под скоростью движения подразумевают векторную величину $d\vec{S}/dt$, где t – время, \vec{S} – вектор перемещения, то *скоростью химической ре-*

акции по веществу A ($v(A)$) называется скалярная величина $\left| \frac{dC(A)}{dt} \right|$, где $C(A)$ – концентрация или масса реагирующего вещества. Другими словами, если под скоростью движения подразумевают скорость направленного приращения расстояния, то скоростью химической реакции по веществу A называется абсолютное значение скорости приращения концентрации или массы вещества A . Например, если скорость реакции



по кислороду равна $0,01$ моль / л · с²¹, то при тех же самых условиях скорость этой же реакции по NO окажется равной $0,02$ моль / л · с, потому что, согласно уравнению реакции, оксида азота (II), расходуется в 2 раза больше, чем кислорода. При этом, скорость реакции по оксиду азота (IV) также равна $0,02$ моль/л · с. Во избежание зависимости значения скорости от выбора вещества пользуются понятием «скорость химической реакции».

Скоростью химической реакции (v) называется скалярная величина $\frac{\left| \frac{dC}{dt} \right|}{n}$, где n – стехиометрический коэффициент при реагирующем веществе

или продукте реакции. Иными словами, скоростью химической реакции называется отношение скорости химической реакции по веществу к стехиометрическому коэффициенту этого вещества. Для рассмотренной реакции $v = 0,01$ моль/л·с независимо от того, расход какого из реагирующих веществ измеряется. Скорость реакции, определённая по образованию продукта реакции, при этом окажется равной также $0,01$ моль/л·с.

В простейших случаях мономолекулярных реакций твёрдых веществ, т.е. в случаях превращений молекул твёрдых веществ без взаимодействия с другими веществами, концентрация представляет собой неизменную плотность. Поэтому скорость таких реакций иногда определяют через изменение массы m : $v = \left| \frac{dm}{dt} \right|$. Например, для реакции²² $\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{к.}) = \text{CuO} + \text{H}_2\text{O}$

$$v = \left| \frac{dm(\text{Cu}(\text{OH})_2)}{dt} \right|$$

²¹ То есть, за одну секунду концентрация кислорода уменьшится на $0,01$ моль/л. В химии традиционно не придерживаются системы СИ – объёмы нередко измеряют в литрах, а массу в граммах.

²² Значок (к.) означает кристаллическое агрегатное состояние вещества.

для реакции ${}^{226}_{88}\text{Ra} = {}^{222}_{86}\text{Rn} + {}^4_2\text{He}$

$$v = \left| \frac{dm({}^{226}_{88}\text{Ra})}{dt} \right|$$

Равенства с $\text{Cu}(\text{OH})_2$ описывают реакцию *разложения*, протекающую без изменения состава ядер атомов. Равенства с ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ представляют реакцию *распада*, протекающую с разрушением ядра атома. В обоих случаях скорость процесса пропорциональна массе m разрушающегося вещества:

$$v = km, \quad (10)$$

где k – константа скорости химической реакции. Причём, константа скорости реакции *распада* называется *постоянной распада*. Выражение (10) иначе можно записать так:

$$\frac{dm}{dt} = -km$$

Строго говоря, величина $\frac{dm}{dt}$ уже не является скоростью химической реакции, поскольку приведена без модуля. Величина $\frac{dm}{dt}$ представляет собой отрицательное изменение (уменьшение) массы во времени, т.е. $\frac{dm}{dt} < 0$.

$$\frac{dm}{m} = -kdt$$

$$\int_{m_0}^m \frac{dm}{m} = - \int_{t_0}^t kdt$$

$$\ln \frac{m}{m_0} = -k(t - t_0)$$

Полагая, что $t_0 = 0$, можно записать $m = m_0 \cdot e^{-kt}$

Поскольку $m = NM$; $m_0 = N_0 M$, где M – молекулярная масса вещества, N_0 и N – количество молекул вещества в начальный момент времени и по истечении времени t соответственно, то можно записать

$$N = N_0 \cdot e^{-kt} \quad (11)$$

Обозначив время, в течение которого разлагаются или распадаются половина молекул (период полураспада) через T , последнее равенство можно преобразовать:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-kT}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-kT}$$

$$kT = \ln 2$$

Если равенство (11) представить в виде

$$N = N_0 \cdot e^{-kt} = N_0 \cdot e^{-\frac{kt}{T} \cdot T} = N_0 \cdot e^{-\frac{t \ln 2}{T}} = N_0 \cdot (e^{\ln 2})^{-\frac{t}{T}} = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

То, получается, что

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} \quad (12)$$

Равенства (11) и (12) представляют собой две формы закона *радиоактивного распада*, широко используемого при изучении реакций самопроизвольного распада радиоактивных элементов, таких как уран, нептуний, плутоний и др. Радиоактивными их стали называть из-за радиации, нередко сопровождающей распад²³. Критерием устойчивости таких элементов как раз и является период полураспада. Как видно из предыдущих рассуждений, закон радиоактивного распада представляет собой лишь частный случай законов химической кинетики.

²³ Под радиацией подразумеваются излучения: положительно заряженных осколков ядер (α – излучение) отрицательно заряженных электронов (β -излучение), нейтронов, а также электромагнитных волн высокой частоты (γ - излучение)

Следует отметить, что скорости мономолекулярных реакций разложения газообразных и растворённых веществ пропорциональны концентрации C лишь при небольших значениях концентраций. В частности, скорость разложения водного раствора гидроксида меди подчиняется равенству:

$$v = kC \quad (13)$$

только при невысоких значениях C .

Из (10) и (13) следует, что $\frac{v}{m} = k$ или $\frac{v}{C} = k$, где $\frac{v}{m}$ или $\frac{v}{C}$ - удельная скорость химической реакции.

Удельная скорость мономолекулярных химических реакций постоянна, т.е. не зависит от массы или концентрации вещества.

Понятие «удельная скорость» применимо только к мономолекулярным процессам и неприменимо к реакциям, протекающим в результате столкновения молекул различного состава. Поэтому, в дальнейшем будем анализировать только скорость, не прибегая к рассмотрению удельной скорости.

Скорость реакций распада не зависит от температуры. Скорости же химических реакций, не сопровождающихся изменением состава ядра, в том числе и реакций разложения, зависят от температуры. Установлено, что при повышении температуры на каждые 10°C скорость большинства таких реакций увеличивается в 2 – 4 раза.

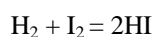
Рассмотренные выше процессы относятся к *реакциям первого порядка*, т.к. их скорости зависят от концентрации (или массы) вещества в первой степени.

Скорости *бимолекулярных реакций* растворённых или газообразных веществ, т.е. скорости превращений, протекающих в результате химического взаимодействия двух молекул разных веществ А и В описываются равенством:

$$v = k [A] [B],$$

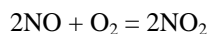
где $[A]$ и $[B]$ – концентрации веществ А и В соответственно, k константа скорости химической реакции.

Например, для процесса



$$v = k [\text{H}_2] [\text{I}_2] \quad (14)$$

Тримолекулярные реакции протекают в результате столкновения трёх молекул²⁴, например:



Скорость приведённой реакции описывается равенством

$$v = k [\text{NO}]^2 \cdot [\text{O}_2] \quad (15)$$

На основании равенств (13) ÷ (15) был сформулирован закон действия масс, который гласит: «Скорость простейшей (элементарной) реакции прямо пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ, взятых в степенях, равных соответствующим стехиометрическим коэффициентам». При этом под элементарными подразумеваются реакции, протекающие в одну стадию. Показатель степени концентрации вещества в уравнениях для скорости химической реакции принято называть порядком реакции по этому веществу. Сумма порядков реакции называется общим порядком реакции. Например, порядок реакции (14) по водороду равен единице, по йоду – тоже единице. Общий порядок этой реакции равен двум, поэтому она относится к реакциям второго порядка. Порядок реакции (15) по NO равен двум, а по кислороду равен единице. Общий порядок реакции (15) равен трём, поэтому она относится к реакциям третьего порядка. Однако, следует иметь в виду, что реакции, описанные уравнениями (8) и (9) не могут быть простыми, потому что для этого необходимо столкновение десяти или даже четырнадцати молекул. Причём, трёх различных веществ. Вероятность такого события, практически равна нулю. Скорости реакций (8) и (9) не подчиняются закону действия масс в его классической формулировке, потому что протекают по сложному механизму, представляющему собой последовательность многочисленных мономолекулярных, бимолекулярных, тримолекулярных реакций. Общий порядок реакций, подчиняющихся закону действия масс, не может превышать 3.

В общем случае скорость химической реакции прямо пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ, взятых в степенях, определяемых экспериментально. То есть, для реакций (8) и (9) представленных на стр. 71, можно записать:

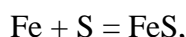
$$v = k \cdot [\text{KMnO}_4]^a \cdot [\text{Na}_2\text{SO}_3]^b \cdot [\text{H}_2\text{SO}_4]^c \quad (16)$$

²⁴ Строго говоря, столкновение трёх молекул не является одновременным. На первой стадии из двух частиц А и В образуется промежуточная частица АВ, которая далее реагирует с молекулой С, образуя продукты реакции.

$$v = k \cdot [\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7]^f \cdot [\text{H}_2\text{SO}_4]^g \cdot [\text{KI}]^h, \quad (17)$$

где a, b, c, f, g, h – экспериментально определяемые порядки реакций по соответствующему веществу, отличные от их стехиометрических коэффициентов.

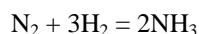
Следует подчеркнуть, что уравнения (14) ÷ (17) справедливы для процессов протекающих в газовой фазе или растворе. Если же взаимодействующие вещества находятся в твёрдом состоянии, например:



то скорость реакции прямо пропорциональна поверхности реагирующих веществ. На величину константы скорости большое влияние оказывает присутствие катализаторов и ингибиторов. Вещества, которые ускоряют химические реакции, но сами при этом не расходуются, называют *катализаторами*. Вещества, которые замедляют скорость химических реакций, называют *ингибиторами*. Например, реакция $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 = 2\text{SO}_3$ протекает значительно быстрее в присутствии V_2O_5 . А окисление металлических изделий (коррозия), соприкасающихся с растворами, может быть предотвращено добавлением таких ингибиторов как NaNO_2 , K_2CrO_4 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, Na_3PO_4 и др.

2.3.1. Примеры решения задач по теме раздела 2.3

1. Для реакции, подчиняющейся закону действия масс, определить во сколько раз изменится скорость реакции, если концентрацию первого вещества увеличить в 2 раза, а концентрацию второго уменьшить в 2 раза?



Прежде чем приступить к решению задачи необходимо определиться какая из двух реакций подчиняется закону действия масс. Общий порядок первой реакции равен 4. Поэтому она не может подчиняться закону действия масс. Общий порядок второй реакции равен трём. Значит, именно реакция окисления угарного газа подчиняется закону действия масс.

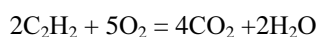
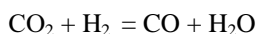
Дано:	Решение:
$\frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}]_0} = 2$	$v = k [\text{CO}]^2 \cdot [\text{O}_2]$
$\frac{[\text{O}_2]}{[\text{O}_2]_0} = \frac{1}{2}$	$v_0 = k [\text{CO}]_0^2 \cdot [\text{O}_2]_0$
$\frac{v}{v_0} = ?$	$\frac{v}{v_0} = \left(\frac{[\text{CO}]}{[\text{CO}]_0}\right)^2 \cdot \frac{[\text{O}_2]}{[\text{O}_2]_0} = 2^2 \cdot \frac{1}{2} = 2$
v_0	Ответ: $\frac{v}{v_0} = 2$

2. Определить постоянную распада калифорния (Cf) если период его полураспада равен одному году. Сколько нераспавшегося калифорния останется от 1 кг через 1,5 года после хранения.

Дано:	Решение:
$T = 1$ год	$kT = \ln 2$
$t = 1,5$ года	$k = \frac{\ln 2}{T}$
$m_0 = 1$ кг	$k = \frac{\ln 2}{1} = \ln 2$
$k - ?$	$k = \ln 2 \approx 0,69$ (год ⁻¹)
$m - ?$	$m = m_0 \cdot e^{-kt}$
	$m = 1 \cdot e^{-1,5 \cdot \ln 2} = 2^{-1,5} = \frac{1}{2^{1,5}} \approx 0,354$ (кг) $\equiv 354$ (г).
	$m \approx 354$ г.
	Массу (m) нераспавшегося калифорния можно рассчитать иначе:
	$m = m_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$
	$m = 1 \cdot 2^{-1,5} \approx 0,354$ (кг) $\equiv 354$ (г).
	$m \approx 354$ г.
	Ответ: $k \approx 0,69$ год ⁻¹ ; $m \approx 354$ г.

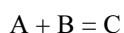
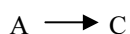
2.3.2. Задачи по теме раздела 2.3. для самостоятельного решения.

1. Для реакции, подчиняющейся закону действия масс, определить во сколько раз изменится скорость реакции, если концентрации обоих реагирующих веществ увеличить в 3 раза?



2. Определить постоянную распада кюрия (Сm) если период его полураспада равен 10^6 лет. Сколько не распавшегося кюрия останется от 300 г. через 500 000 лет?

3. Определить размерность и значение константы скорости для каждой из следующих химических реакций:



если во всех трёх случаях:

- реакции подчиняются закону действия масс;
- $d[\text{C}]/dt = 0,5$ моль/л·с;
- $[\text{A}] = 2$ моль/л.

В последних двух реакциях $[\text{B}] = 3$ моль/л.

1. Что такое химическая кинетика? Дайте определение скорости химической реакции по веществу и скорости химической реакции.

2. Что такое мономолекулярная реакция? Бимолекулярная? Тримолекулярная? Приведите конкретные примеры. Возможно ли протекание тетрамолекулярных и пентамолекулярных реакций?

3. Сформулируйте закон действия масс и расскажите о границах его применимости.

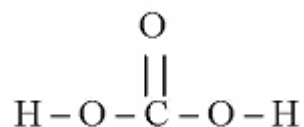
4. Как влияют на скорость химической реакции температура, катализаторы, ингибиторы?

2.4.ОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

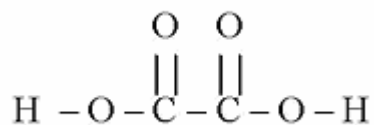
Органическая химия – раздел химии, изучающий химические свойства органических веществ.

Разумеется, при таком определении возникает вопрос, а что такое органические вещества?

Органические вещества – соединения *четырёхвалентного углерода*, за исключением нескольких веществ, традиционно считающихся неорганическими (CO_2 ; H_2CO_3 ; Na_2CO_3 , CS_2 и др.). То есть, нет строгой границы, разделяющей вещества органические и неорганические. Например, состав и строение угольной кислоты H_2CO_3 ,



совершенно аналогичны составу и строению щавелевой кислоты $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$,



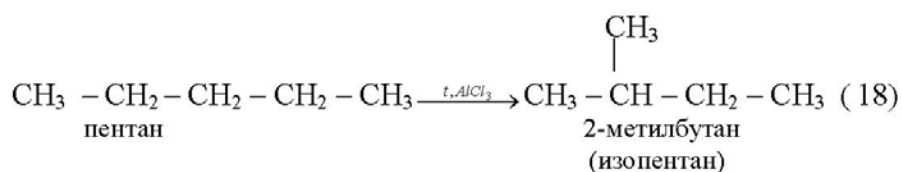
Однако, в силу условной традиции, первую принято считать неорганическим соединением, а вторую органическим.

Теоретической основой всей органической химии по сей день, остается теория химического строения органических веществ, решающую роль в развитии которой, сыграл Александр Михайлович Бутлеров (1828 – 1886 гг.), сформулировавший основные идеи этой теории в виде следующих положений:

1. Все атомы, образующие молекулы органических веществ, связаны в определённой последовательности согласно их валентностям.
2. Свойства веществ зависят не только от природы и количества атомов, входящих в состав молекулы, но и от порядка соединения атомов в молекуле.
3. По свойствам данного вещества можно определить строение его молекулы, а по строению молекулы предвидеть свойства.

4. Атомы и группы атомов в молекулах веществ, взаимно влияют друг на друга.

Второе положение теории строения органических веществ объяснило, в частности, явление *изомерии* – возможность существования соединений, описываемых одной и той же молекулярной формулой, но обладающих различными свойствами. Именно различия в порядке соединения атомов в молекуле, то есть различия в строении, стали объяснением различия свойств молекул одинакового состава. Вещества, описываемые одной и той же молекулярной формулой, но отличающиеся строением называются *изомерами*. Реакции превращения одних изомеров в другие называются реакциями *изомеризации*. Например, пентан, обладающий температурой кипения 36,1°С и описываемый молекулярной формулой C₅H₁₂, при нагревании в присутствии катализатора может превращаться в изопентан (2-метилбутан), обладающий температурой кипения 27, 8°С, хотя и описываемый точно такой же молекулярной формулой.



2.4.1. Углеводороды

Углеводороды – это органические вещества, состоящие только из двух элементов - углерода и водорода. Углеводороды подразделяются на циклические (с замкнутыми молекулярными цепями) и ациклические (с незамкнутыми молекулярными цепями). Например:



2.4.1.1. Предельные углеводороды (алканы, циклоалканы)

Углеводороды, молекулы которых образованы с помощью только обычных связей, называются предельными (насыщенными) углеводородами.

Алканы

Предельные *ациклические* углеводороды называются алканами или парафинами. Простейшим алканом является метан, молекулярная формула которого CH_4 .

Для того, чтобы разобраться в строении метана необходимо вспомнить особенности электронного строения атома углерода.

Атом углерода в невозбуждённом состоянии включает в себя два спаренных s – электрона на первом энергетическом уровне, два спаренных s – электрона на втором энергетическом уровне и два неспаренных p – электрона на том же втором энергетическом уровне (рис.1)

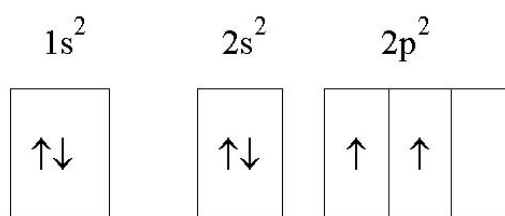


Рис. 1. Схема электронного строения атома углерода в невозбуждённом состоянии.

Но при образовании органических соединений углерод получает дополнительную энергию, в результате чего становится обладателем четырёх неспаренных электронов, способных к взаимодействию (рис. 2).

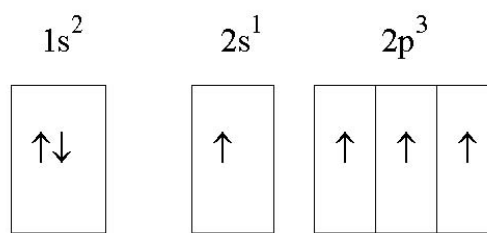


Рис. 2. Схема электронного строения атома углерода в возбуждённом состоянии.

Причём, один из них s -электрон, вращающийся по сферической s -орбитали, и три p -электрона, вращающихся по трём гантелеобразным p -орбиталям (рис.3).

Казалось бы, будучи четырёхвалентным, возбуждённый углерод не может образовывать с атомами водорода четырёх одинаковых связей, поскольку формы s-орбитали и p-орбитали существенно различаются. Однако, все экспериментальные измерения неизменно указывали на эквивалентность всех четырёх углерод – водородных связей в молекуле метана. Объяснение этому факту удалось найти только после открытия явления гибридизации атомных орбиталей. Оказалось, что в предельных углеводородах все атомы углерода обладают sp^3 -валентными электронами, то есть электронами, вращающимися по четырем гибридизованным sp^3 -орбиталям (рис. 3)

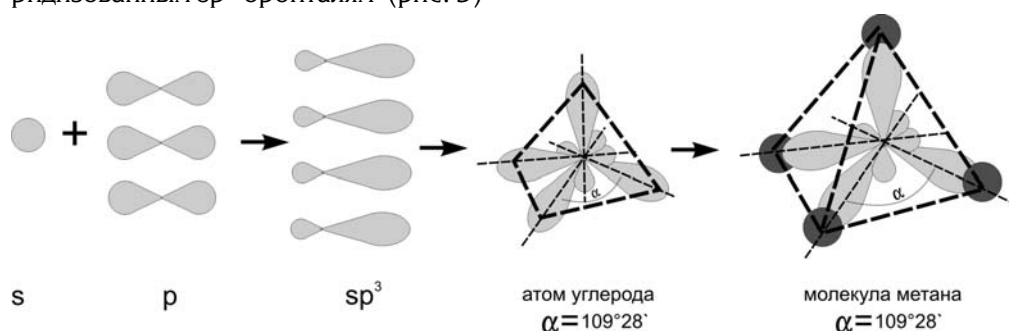


Рис.3. Схема гибридизации атомных орбиталей возбуждённого атома углерода и образования молекулы метана²⁵.

Все алканы описываются общей формулой C_nH_{2n+2} (где n – целое положительное число), образуя между собой гомологический ряд, каждый представитель которого отличается от предыдущего на группу CH_2 , называемую гомологической разницей. Органические вещества, отличающиеся друг от друга на одну или несколько групп CH_2 называются гомологами. Первые десять гомологов предельных углеводородов *неразветвлённого* (нормального) строения указаны в таблице. В этой же таблице приведены названия *радикалов* - частиц, образованных отщеплением от органической молекулы атома водорода. Радикалы не являются молекулами. Они представляют собой неустойчивые «осколки», приобретающие стабильность только в составе целой молекулы. Название большинст-

²⁵ Строение метана аналогично строению тетраэдра, рассмотренного в учебном пособии *Математика: Уч. пособие /О.М. Шепель., Н.И. Чабовская / Под ред.С.Е. Осокиной. – Томск:Томский ЦНТИ, 2006.–124 с. (С. 104)*. В молекуле метана вершинами тетраэдра являются атомы водорода, центром тетраэдра – атом углерода.

ва радикалов предельных углеводородов, образовавшихся отщеплением одного атома водорода, формируется заменой суффикса -ан, на -ил

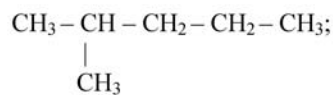
Таблица

Гомологический ряд предельных углеводородов (ряд метана)

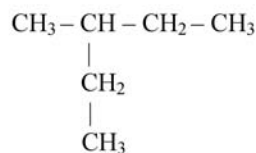
Название углеводорода	Молекулярная формула углеводорода	Структурная формула углеводорода (полная или сокращённая)	Агрегатное состояние углеводорода при н.у.	Температура кипения углеводорода при н.у. в °С	Молекулярная формула радикала	Название радикала
Метан	CH ₄	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Газ	-161,6	CH ₃ -	Метил
Этан	C ₂ H ₆	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array}$	Газ	-88,6	C ₂ H ₅ -	Этил
Пропан	C ₃ H ₈	H ₃ C-CH ₂ -CH ₃	Газ	-42,1	C ₃ H ₇ -	Пропил
Бутан	C ₄ H ₁₀	H ₃ C-CH ₂ -CH ₂ -CH ₃	Газ	-0,5	C ₄ H ₉ -	Бутил
Пентан	C ₅ H ₁₂	H ₃ C-(CH ₂) ₃ CH ₃	Жидкость	+36,07	C ₅ H ₁₁ -	Пентил
Гексан	C ₆ H ₁₄	H ₃ C-(CH ₂) ₄ CH ₃	Жидкость	+68,7	C ₆ H ₁₃ -	Гексил
Гептан	C ₇ H ₁₆	H ₃ C-(CH ₂) ₅ CH ₃	Жидкость	+98,5	C ₇ H ₁₅ -	Гептил
Октан	C ₈ H ₁₈	H ₃ C-(CH ₂) ₆ CH ₃	Жидкость	+125,6	C ₈ H ₁₇ -	Октил
Нонан	C ₉ H ₂₀	H ₃ C-(CH ₂) ₇ CH ₃	Жидкость	+150,7	C ₉ H ₁₉ -	Нонил
Декан	C ₁₀ H ₂₂	H ₃ C-(CH ₂) ₈ CH ₃	Жидкость	+174,0	C ₁₀ H ₂₁ -	Децил

Для составления названия *разветвлённых* предельных углеводородов придерживаются следующих правил:

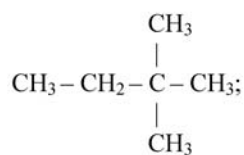
1. Выбирают в структурной формуле наиболее длинную углеродную цепь и нумеруют в ней символы атомов углерода, начиная с того конца, к которому ближе разветвление.
2. Называют заместители (начиная с простейшего) и при помощи цифр указывают их место у нумерованных атомов углерода. Если у одного и того же атома углерода находятся два одинаковых радикала, тогда номер повторяют дважды. Число одинаковых радикалов указывают при помощи чисел на греческом языке («ди» – два, «три» – три, «тетра» – четыре, «пента» – пять и т. д.). Например:



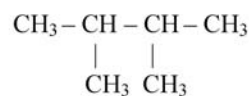
2 – метилпентан



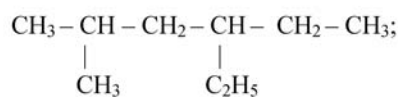
3 – метилпентан



2, 2 - диметилбутан



2, 3 - диметилбутан



2 – метил – 4 – этилгексан

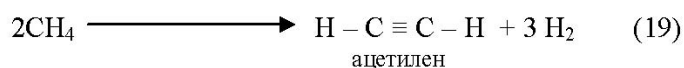
Приведённые правила были разработаны международным союзом теоретической и прикладной химии – International Union of Pure and Applied Chemistry, сокращённо IUPAC (ИЮПАК). В дальнейшем, названия веществ, составленные в соответствии с этими правилами будем называть систематическими. Однако, по сей день наряду с систематическими названиями нередко используются названия традиционные (тривиальные), сложившиеся задолго до возникновения IUPAC. Например, систематическое название продукта реакции (18), представленной на с. 81 (2-метилбутан), и его тривиальное название (изопентан) используются одинаково часто.

Физические свойства

Как видно из таблицы, первые четыре гомолога предельных углеводородов представляют собой газы при нормальных условиях. Алканы неразветвлённого строения находятся в жидком агрегатном состоянии начиная с пентана и вплоть до углеводорода $\text{C}_{15}\text{H}_{32}$ (пентадекан). Начиная с гексадекана ($\text{C}_{16}\text{H}_{34}$), алканы нормального строения – твёрдые вещества. Первым твёрдым разветвлённым насыщенным углеводородом является 2,2,3,3 – тетраметилбутан. В целом, температура кипения алканов повышается с увеличением массы и разветвлённости макромолекулы.

Химические свойства

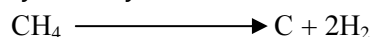
Под химическими свойствами органических веществ в настоящем курсе будем подразумевать их способность вступать в реакции *соединения*, *разложения*, *замещения*, *обмена*, рассматривая в качестве критерия классификации состав исходных веществ и продуктов реакции. Хотя, следует иметь в виду, что разнообразие превращений органических веществ настолько велико, что не укладывается в узкие рамки указанной классификации. В частности, приведённая на стр. 81 реакция изомеризации (18) не может быть отнесена ни к одной из перечисленных групп. Кроме того, процессы соединения и разложения могут протекать одновременно в одной и той же реакции. Например, при нагревании метана до 1500°C образуются ацетилен и водород:



То есть, с одной стороны происходит отщепление водорода, а с другой стороны, атомы углерода соединяются в одну молекулу тройной связью.

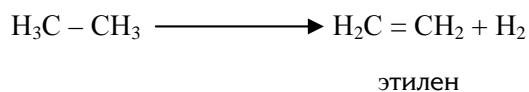
Реакции соединения. Для алканов реакции соединения не характерны. Валентности молекул этих веществ проявляют себя насыщенными до предела. Именно поэтому их стали называть насыщенными или предельными углеводородами.

Реакции разложения. Примером реакций разложения алканов может служить образование углерода и водорода при нагревании метана до температуры свыше 1000 °C без доступа воздуха:



Если в этих же условиях метан нагреть до 1500°C протекает реакция (19).

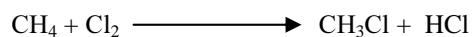
Этан при разложении может образовывать этилен и водород (реакция дегидрирования):



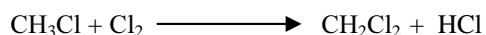
Однако, следует иметь в виду, что в отсутствие воздуха для любого алкана можно подобрать температуру и давление при которых он распадётся на углерод и водород:



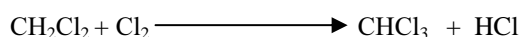
Реакции замещения. При освещении смеси метана с Cl_2 , водород замещается атомами хлора:



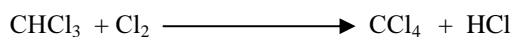
хлорметан



дихлорметан

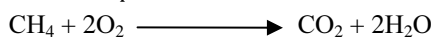


трихлорметан (хлороформ)



тетрахлорметан

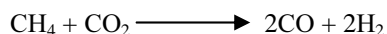
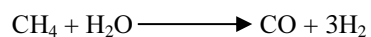
Атомы или радикалы, замещающие водород в молекулах углеводорода иногда называют заместителями. В хлорметане, дихлорметане, трихлорметане и тетрахлорметане заместителем является хлор. А в 2-метилбутане (реакция (18)) в качестве заместителя одного из атомов водорода бутана можно воспринимать метил. Метан легко сгорает бесцветным пламенем, в результате чего атомы водорода замещаются атомами кислорода:



Накапливаясь в угольных шахтах метан образует с воздухом взрывчатую смесь, несвоевременное обнаружение которой приводит порой к несчастным случаям.

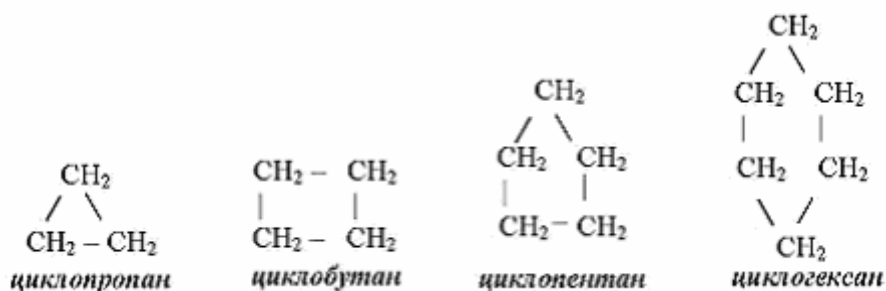
Следует иметь в виду, что если в качестве критерия классификации принять изменение степени окисления у атомов взаимодействующих молекул, то рассмотренные выше реакции разложения и замещения можно рассматривать как окислительно-восстановительные. При этом, восстановителем во всех случаях служит атом углерода, а окислителем – атомы водорода, хлора и кислорода. Подавляющее число органических реакций являются окислительно-восстановительными.

Реакции обмена. При $800 - 900^\circ\text{C}$ и в присутствии катализаторов (Ni , MgO или Al_2O_3) метан взаимодействует с водой и углекислым газом:

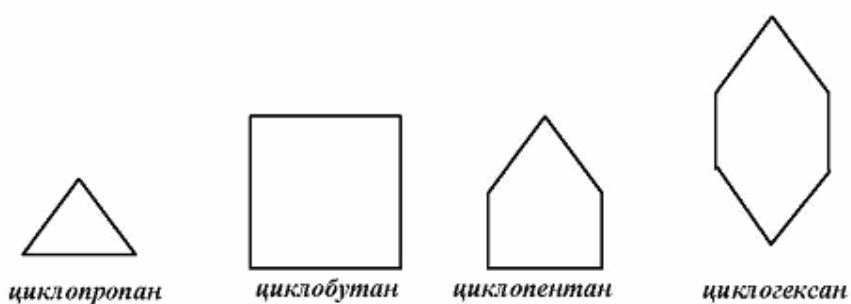


Циклоалканы

Предельные циклические углеводороды с общей молекулярной формулой C_nH_{2n} называются циклоалканами:



Иногда структурные формулы циклоалканов представляют простыми геометрическими фигурами



Каждый угол таких многоугольников символизирует углерод, соединённый с двумя атомами водорода σ - связью:

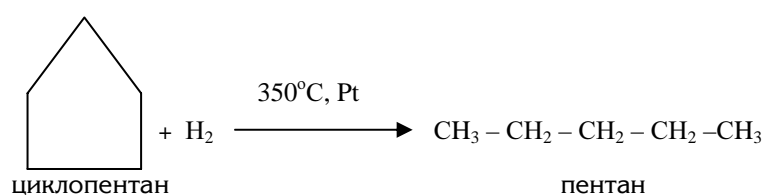
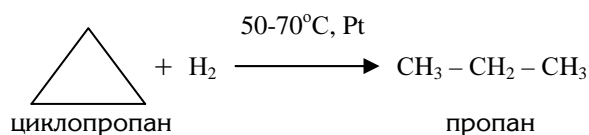


Физические свойства

Циклопропан и циклобутан при нормальных условиях – газы, а циклопентан и циклогексан – жидкости.

Химические свойства

Основное отличие химических свойств циклоалканов от химических свойств алканов состоит в способности вступать в реакции соединения:



Поведение циклоалканов при разложении, их свойство вступать в реакции замещения и обмена аналогичны поведению и свойствам алканов.

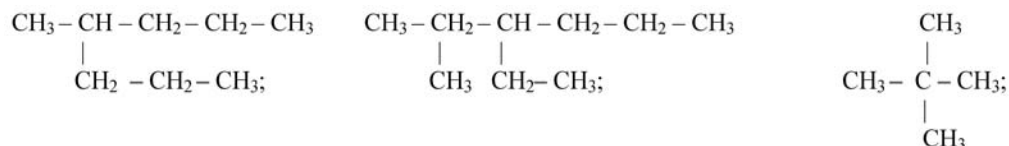
Хотя способность циклоалканов вступать в реакции присоединения сближает их с непредельными углеводородами, однако главным критерием классификации органических веществ является их строение. Поскольку молекулы циклоалканов образованы с помощью только обычных связей, то они относятся к предельным углеводородам.

1. Определить степени окисления всех элементов исходных веществ и продуктов реакции взаимодействия:

- метана с кислородом;
- метана с водой;
- метана с углекислым газом.

2. Какой из элементов метана является окислителем, а какой восстановителем в процессе его разложения на углерод и водород. Почему?

3. Дайте систематические названия следующим соединениям:

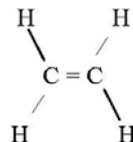


4. Составьте структурную формулу первого твёрдого разветвлённого алкана.

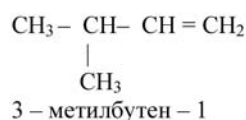
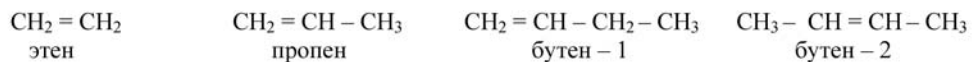
5. В чём состоит основное отличие химических свойств циклоалканов от химических свойств алканов. Приведите примеры.

2.4.1.2. Непредельные углеводороды (алкены, алкины, алкадиены)

Углеводороды, в молекулах которых присутствует двойная ($\text{C} = \text{C}$) или тройная ($\text{C} \equiv \text{C}$) углерод – углеродная связь, называются непредельными углеводородами. Связи $\text{C} = \text{C}$ и $\text{C} \equiv \text{C}$ в отличие от ординарных называют кратными. Кратные связи являются функциональными группами углеводородов. Фрагменты органических молекул, строение и состав которых отличаются от строения и состава предельных углеводородов называются *функциональными группами*. Непредельные углеводороды, имеющие одну двойную связь называются углеводородами ряда этилена или алкенами (олефинами) и описываются общей формулой C_nH_{2n} , совпадающей с общей формулой циклоалканов. Простейшим алкеном является этилен (тривиальное название) или этен (систематическое название):

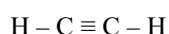


Систематические названия алкенов образуют путём изменения суффикса – **ан** соответствующего предельного углеводорода на суффикс – **ен**. При этом положение двойной связи указывают цифрой в конце названия. Например,

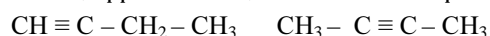


На примере последнего соединения видно, что если в цепи молекулы присутствуют и кратная связь и заместитель, то нумерация углеродных атомов начинается с края, к которому ближе кратная связь.

Непредельные углеводороды, имеющие одну тройную связь, называются углеводородами ряда ацетилена или алкинами и описываются общей формулой C_nH_{2n-2} . Простейшим алкином является ацетилен (тривиальное название) или этин (систематическое название):



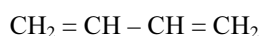
Систематические названия алкинов образуются заменой суффикса – **ан** соответствующего предельного углеводорода на суффикс – **ин**. Положение тройной связи указывают цифрой в конце названия. Например,



бутин – 1

бутин – 2

Непредельные углеводороды, имеющие две двойные связи, называются диеновыми углеводородами и описываются общей формулой C_nH_{2n-2} , совпадающей с общей формулой алкинов. Простейшим диеновым углеводородом является бутадиен - 1,3:



Систематические названия диеновых углеводородов образуются заменой суффикса – **ан** соответствующего предельного углеводорода на суффикс – **диен**. Положение двойных связей указывают цифрами в конце названия. Например,



пентадиен - 1,4

Пространственное строение непредельных углеводородов.

В структурной формуле этилена две связи, соединяющие атомы углерода и обозначаемые одинаковыми чёрточками, на самом деле не эквивалентны друг другу.

В молекуле этилена, *также* как и в молекуле этана каждый атом углерода обладает 4-мя валентными электронами. Но в молекуле этилена *в отличие* от молекулы этана гибридизованы только три (один s и два p) электрона, образующих три sp^2 орбитали. Орбиталь четвертого валентного p – электрона каждого углерода остаётся без изменений. Два из трёх гибридизованных sp^2 электрона образуют связь с атомами водорода, третий – с другим атомом углерода. Связь,

образованная электронами углерода, вращающимися по гибридизованным sp^3 , sp^2 , sp орбиталям является σ – связью.²⁶ Оставшийся без изменений четвёртый p – электрон образует в молекуле этилена с аналогичным p – электроном другого атома вторую углерод – углеродную связь, которая называется π – связью²⁷. Таким образом, двойная углерод – углеродная связь в молекуле этилена представляет собой совокупность одной σ и одной π связей (рис. 4).

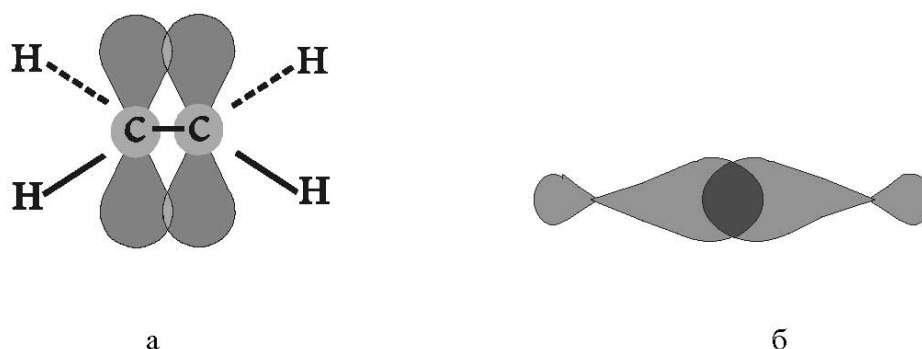


Рис. 4. Образование σ и π - связей в молекуле этилена. Перекрывание вертикальных орбиталей представляет собой π – связь (а). Плоскость, образуемая четырьмя атомами водорода перпендикулярна плоскости рисунка. Обозначение С – С символизирует в данном случае σ - связь, образованную перекрыванием sp^3 орбиталей атомов углерода (б).

Тройная связь в молекуле ацетилена представляет собой совокупность одной σ – связи и двух π – связей, расположенных перпендикулярно друг к другу.

В молекуле бутадиена двойные связи разделены одной ординарной связью. Но близость соседних π – связей приводит к тому, что центральные p -электроны частично перекрываются также между собой, хотя и в меньшей степени, чем с p -электронами крайних атомов (рис. 5).

²⁶ Особенность такой связи состоит в том, что она имеет только одну область перекрывания.

²⁷ π – связь отличается от σ – связи наличием двух областей перекрывания

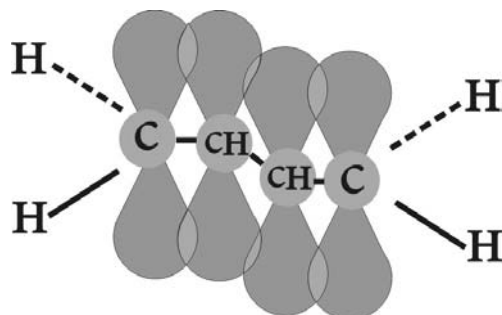


Рис. 5. Сопряжённые связи в молекуле бутадиена – 1,3. Плоскость, образованная четырьмя атомами *углерода*, перпендикулярна плоскости рисунка. На этой же плоскости расположены все атомы водорода.

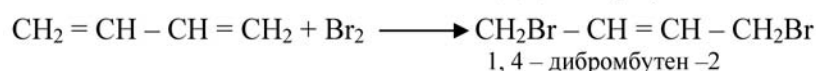
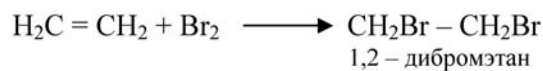
π – связи, разделённые между собой одной ординарной связью и перекрывающиеся вследствие близости взаиморасположения называются *сопряжёнными* π – связями. Следует подчеркнуть что в пентадиене – 1,4 такого сопряжения нет. π – Связь сравнительно легко разрывается, так как она значительно слабее σ – связи. Поэтому именно π – связь обеспечивает высокую реакционную способность непредельных углеводородов в реакциях соединения.

Физические свойства

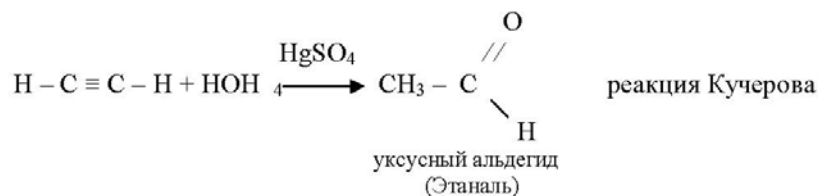
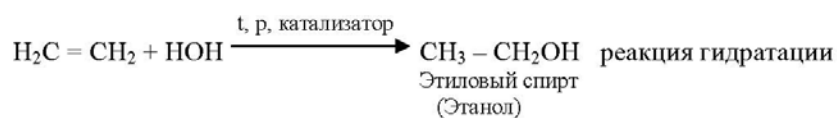
Среди алкенов этен, пропен и бутен при нормальных условиях газообразны, от пентена C_5H_{10} до октадецена $C_{18}H_{36}$ включительно эти углеводороды находятся в жидком состоянии, а начиная с нонадецена $C_{19}H_{38}$ – в твёрдом. Среди ацетиленовых углеводородов газообразными при нормальных условиях являются только этин и пропин. 1,3 – Бутадиен при нормальных условиях – газ. Изменения физических свойств ненасыщенных углеводородов подчиняются тем же закономерностям, что и физические свойства насыщенных углеводородов: при увеличении молекулярной массы и разветвления углеводородов повышается температура их кипения.

Химические свойства

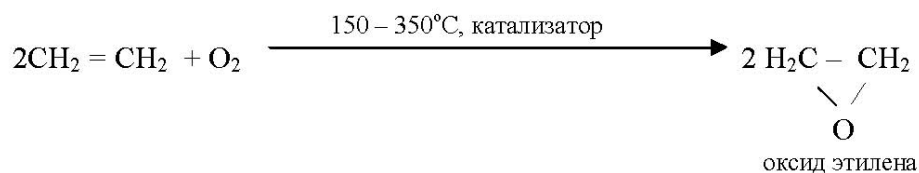
Реакции соединения. Для непредельных углеводородов реакции соединения являются наиболее характерными. Например, они легко обесцвечивают бромную воду:



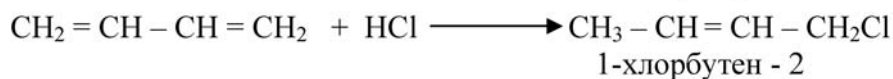
присоединяют воду:



этилен способен присоединять даже кислород

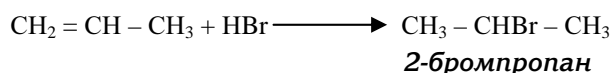


Практически все непредельные углеводороды присоединяют галогеноводороды:

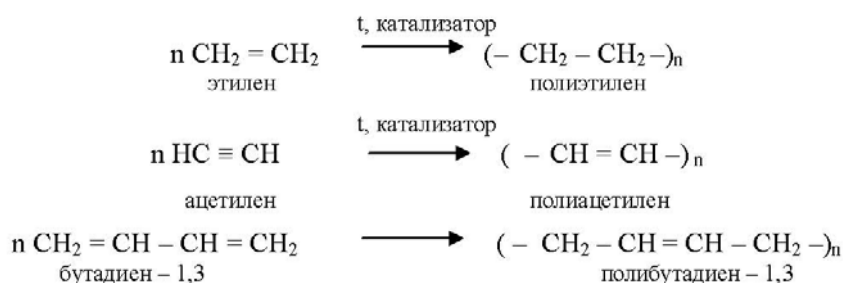


Порядок присоединения галогеноводорода к пропену и последующим углеводородам ряда этилена регламентируется правилом Марковникова:

Водород присоединяется к наиболее, а атом галогена к наименее гидрированному атому углерода:

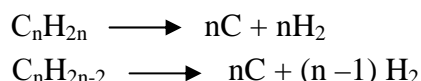


Молекулы всех непредельных углеводородов способны соединяться друг с другом, образуя полимеры:

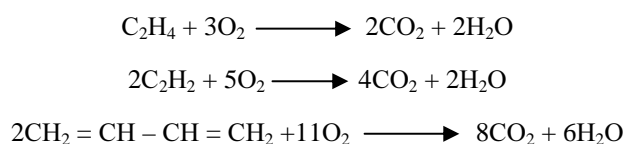


Реакция соединения многих одинаковых молекул в более крупные называется реакцией полимеризации. Вещества, молекулы которых представляют собой цепи, состоящие из множества повторяющихся звеньев, называются *полимерами*. Молекулы полимеров иногда называют *макромолекулами*. Исходные вещества при получении полимеров называются *мономерами*. То есть, мономером полиэтилена является этилен, мономером полиацетилена – ацетилен и т.д.

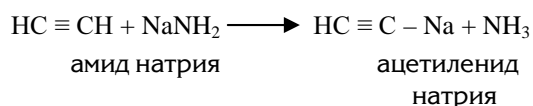
Реакции разложения. Без доступа воздуха, при повышенных температурах, непредельные углеводороды, также как и предельные могут образовывать углерод и водород:



Реакции замещения. В результате сгорания непредельных углеводородов происходит замещение атомов водорода и углерода атомами кислорода



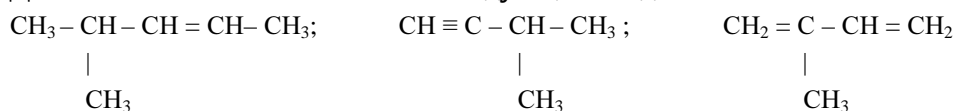
Реакции обмена. В силу того, что тройная связь в молекуле ацетилена весьма значительно стягивает на себя электроны, принадлежащие атомам водорода, то последние оказываются менее прочно связанными с молекулой по сравнению с атомами водорода этилена. Поэтому реакции обмена характерны, прежде всего, для углеводородов ацетиленового ряда с не более, чем одним заместителем:



1. Составьте уравнения реакций соединения с водородом:

- этилена;
- ацетилена;
- бутадиена.

2. Дайте систематические названия следующим соединениям:

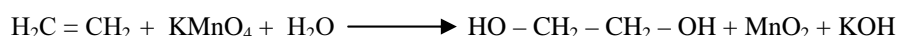


3. Напишите структурные формулы следующих веществ:

2,3 - диметилпентен - 2; 3,4 - диметилгексин - 1; 2,4 - диметилпентадиен - 1,4

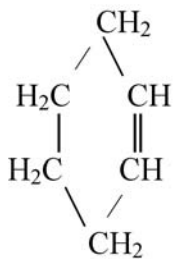
4. Какую Вы знаете особенность химических свойств алкинов, отличающую их от алкенов и алкадиенов?

5. Пользуясь равенствами (6) и (7) раздела 2.2.2 расставить коэффициенты в схеме реакции:

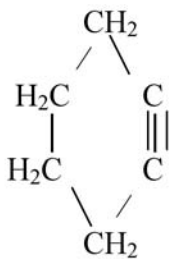


2.4.1.3. Ароматические углеводороды (арены)

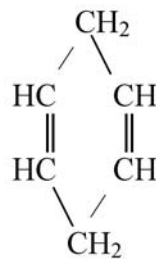
Молекулы непредельных углеводородов также как и предельных могут представлять собой замкнутые цепи – циклоалкены, циклоалкины, циклоалкадиены:



циклогексен



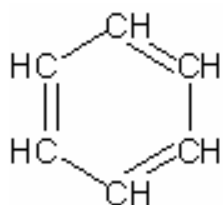
циклогексин



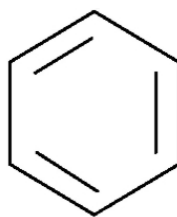
циклогексадиен – 1,4

Циклические углеводороды, содержащие в своём цикле *три* чередующиеся двойные связи называются ароматическими углеводородами.

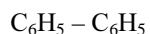
Простейшим ароматическим углеводородом является бензол, описываемый молекулярной формулой C_6H_6 , структуру которого приводят подробно,



или упрощенно

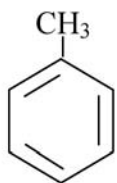


Радикал, полученный отщеплением одного атома водорода от молекулы бензола (C_6H_5-) называется фенилом:

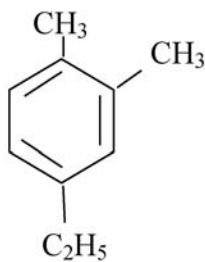


дифенил

Согласно систематической номенклатуре все ароматические соединения рассматриваются как замещённые бензола и цифрами показывается место того или иного заместителя. Например,



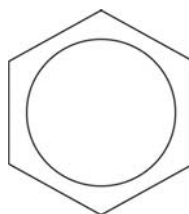
метилбензол



1,2 – диметил – 3 – этилбензол

Однако следует иметь в виду, что до сих пор нередко используются тривиальные названия ароматических углеводородов или используется другая номенклатура.

Также как и в бутадиене – 1,3 двойные связи бензола сопряжены, а атомы углерода обладают sp^2 – гибридизацией своих орбиталей. Но, в отличие от бутадиена – 1,3, сопряжение в бензоле приводит к *равному* перекрыванию орбитали каждого p – электрона соседними p-электронами. То есть, фактически в молекуле бензола вместо чередования двойных и ординарных связей, атомы углерода объединены единой π – системой шести p – электронов, расположенной перпендикулярно плоскости шести σ – связей. Чтобы подчеркнуть равенство всех углерод-углеродных связей в молекуле бензола, его структурную формулу часто представляют следующим образом:



Н
|

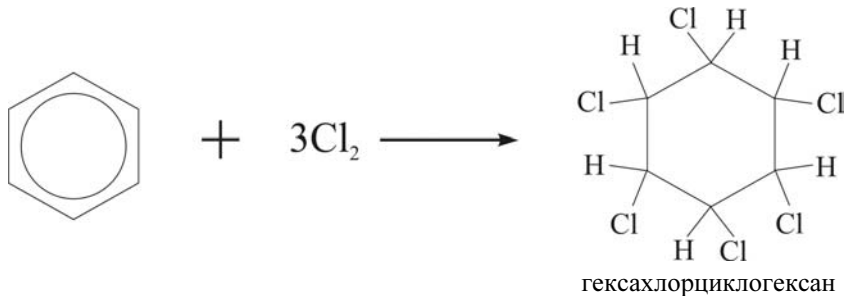
Каждый угол такого шестиугольника символизирует С, т.е. углерод и водород, объединённые σ - связью.

Физические свойства

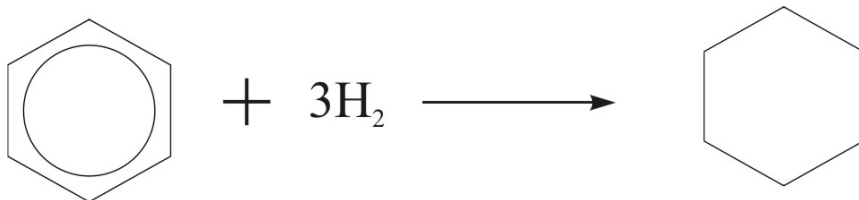
Бензол – бесцветная, нерастворимая в воде жидкость со своеобразным запахом. Его температура кипения $80,1^{\circ}\text{C}$. При охлаждении он легко застывает в белую кристаллическую массу с температурой плавления $5,5^{\circ}\text{C}$. Температуры кипения ароматических углеводородов закономерно повышаются с увеличением их молекулярных масс.

Химические свойства

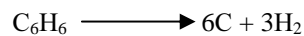
Реакции соединения. Бензол присоединяет галогены под действием солнечного света или ультрафиолетовых лучей:



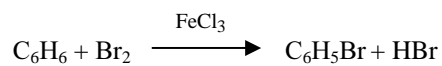
При нагревании и в присутствии катализаторов бензол присоединяет водород:



Реакции разложения. При нагревании без доступа воздуха бензол, как и все углеводороды может распадаться на углерод и водород:

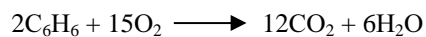


Реакции замещения. Атомы водорода в бензоле замещаются галогенами в присутствии катализатора – солей железа (III):

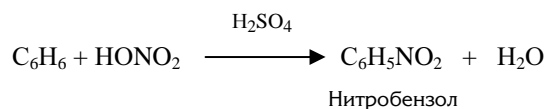


Обратите внимание: в отсутствие катализатора между бензолом и галогенами протекает реакция соединения, а в присутствии катализатора – реакция замещения.

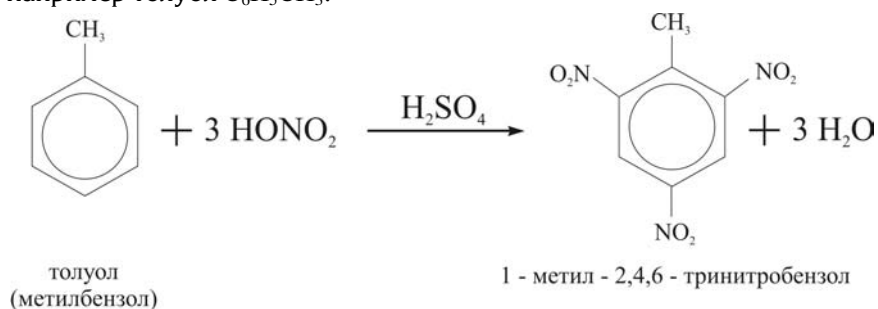
Бензол и его гомологи горят на воздухе коптящим пламенем:



Реакции обмена. При нагревании, в присутствии серной кислоты, бензол взаимодействует с азотной кислотой



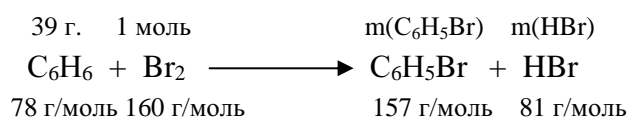
Ещё легче в реакцию обмена с азотной кислотой вступают гомологи бензола, например толуол $C_6H_5CH_3$:



2.4.1.3.1. Способы решения задачи по теме раздела 2.4.1.3.

К 39 г. бензола в присутствии хлорида железа (III) добавили 1 моль брома. Какие вещества и сколько граммов их получилось после реакции?

Прежде чем приступить к количественным расчётам, необходимо записать уравнение реакции:



из которого видно, что продуктами взаимодействия являются бромбензол и бромоводород.

Дано:	Решение:
$m(\text{C}_6\text{H}_6) = 39 \text{ г}$	<p>Для взаимодействия с 39 г. бензола необходимо только 0,5 моль брома.</p> <p>Действительно, согласно следствия закона эквивалентов:</p> $\frac{m(\text{C}_6\text{H}_6)}{M(\text{C}_6\text{H}_6)} = n(\text{Br}_2)$ <p>В данном случае</p> $n(\text{Br}_2) = \frac{39}{78} = 0,5 \text{ (моль)}$
$n(\text{Br}_2) = 1 \text{ моль}$	
$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) - ?$	
$m(\text{HBr}) - ?$	

То есть, Br_2 взят в избытке. Полностью прореагирует только бензол, взятый в недостатке.

1 способ

окончания решения задачи

(с помощью следствия закона эквивалентов)

Для пары веществ - бензол и бромбензол - следствие закона эквивалентов запишется следующим образом:

$$\frac{m(\text{C}_6\text{H}_6)}{M(\text{C}_6\text{H}_6)} = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br})}{M(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br})}$$

откуда

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_6) \cdot M(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br})}{M(\text{C}_6\text{H}_6)}$$

то есть

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) = \frac{39 \cdot 157}{78}$$

или

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) = 78,5 \text{ г.}$$

для пары - бензол и бромоводород:

$$\frac{m(\text{C}_6\text{H}_6)}{M(\text{C}_6\text{H}_6)} = \frac{m(\text{HBr})}{M(\text{HBr})}$$

откуда

$$m(\text{HBr}) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_6) \cdot M(\text{HBr})}{M(\text{C}_6\text{H}_6)}$$

то есть

$$m(\text{HBr}) = \frac{39 \cdot 81}{78}$$

или

$$m(\text{HBr}) = 40,5 \text{ г.}$$

2 способ

окончания решения задачи
(по правилам составления пропорций)

На основании уравнения реакции можно составить следующие пропорции:

$$\frac{m(\text{C}_6\text{H}_6)}{m(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br})} = \frac{M(\text{C}_6\text{H}_6)}{M(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br})}$$

$$\frac{m(\text{C}_6\text{H}_6)}{m(\text{HBr})} = \frac{M(\text{C}_6\text{H}_6)}{M(\text{HBr})}$$

откуда:

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_6) \cdot M(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br})}{M(\text{C}_6\text{H}_6)}$$

$$m(\text{HBr}) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_6) \cdot M(\text{HBr})}{M(\text{C}_6\text{H}_6)}$$

то есть

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) = \frac{39 \cdot 157}{78}$$

$$m(\text{HBr}) = \frac{39 \cdot 81}{78}$$

или

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) = 78,5 \text{ г.}$$

$$m(\text{HBr}) = 40,5 \text{ г.}$$

3 способ

окончания решения задачи
(с помощью логических заключений)

По условию задачи прореагировало 0,5 моль бензола:

$$n(\text{C}_6\text{H}_6) = \frac{m(\text{C}_6\text{H}_6)}{M(\text{C}_6\text{H}_6)} = \frac{39}{78} = 0,5 \text{ (моль)}$$

Из уравнения реакции следует, что при взаимодействии 0,5 моль C_6H_6 образуется 0,5 моль $\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}$ и 0,5 моль HBr . То есть

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) = M(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) \cdot 0,5 = 157 \cdot 0,5 = 78,5 \text{ (г.)}$$

$$m(\text{HBr}) = M(\text{HBr}) \cdot 0,5 = 81 \cdot 0,5 = 40,5 \text{ (г.)}$$

$$\text{Ответ: } m(\text{C}_6\text{H}_5\text{Br}) = 78,5 \text{ г.}, m(\text{HBr}) = 40,5 \text{ г.}$$

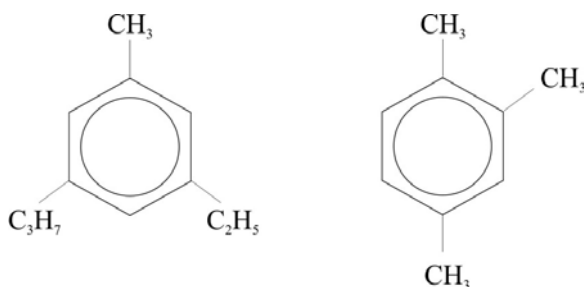
2.4.1.3.2. Задачи по теме раздела 2.4.1.3. для самостоятельного решения.

1. Газообразную смесь из 1 моль бензола и 142 г. хлора подвергли ультрафиолетовому облучению. Какой продукт, и какой массы при этом образовался? Решить задачу тремя способами.

2. Определить количество бензола, израсходованного на образование 369 г. нитробензола.

1. В чём состоит особенность строения бензола, отличающая его от неароматических углеводородов?

2. Дайте систематические названия следующим соединениям:



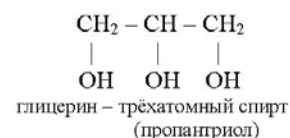
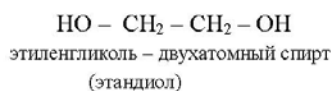
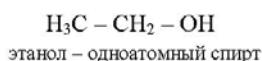
3. Охарактеризуйте химические свойства ароматических углеводородов на примере конкретных реакций.

2.4.2. Кислородсодержащие органические соединения

Органические вещества, молекулы которых включают, помимо углерода и водорода другие элементы периодической системы называют производными углеводов. Таким образом, кислородсодержащие органические соединения можно также рассматривать как производные углеводов. Представителями кислородсодержащих органических соединений являются: *спирты, альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты* и некоторые другие вещества.

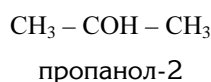
2.4.2.1. Спирты, альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты

Спиртами называются производные углеводов, в молекулах которых один или несколько атомов водорода замещены функциональными гидроксогруппами. Если гидроксогруппой замещён один атом водорода, то спирт называется одноатомным, если два и более атомов водорода, то многоатомным. Например:



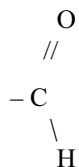
Важно подчеркнуть, что при одном и том же атоме углерода не может находиться более одной гидроксогруппы.

Систематические названия спиртов производятся добавлением суффикса **-ол** к названию соответствующего углеводорода и при необходимости указанием номера атома углерода, при котором находится группа **-ОН**:

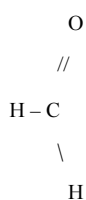


Спирты, в отличие от неорганических оснований, при растворении в воде не диссоциируют и не образуют аниона OH^- .

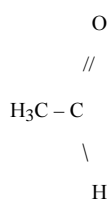
Альдегидами называются производные углеводов, содержащие альдегидную функциональную группу:



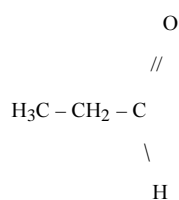
например,



муравьиный альдегид
(метаналь)



уксусный альдегид
(этаналь)



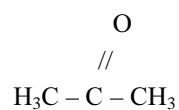
пропионовый альдегид
(пропаналь)

Систематические названия альдегидов производятся добавлением суффикса – **аль** к названию соответствующего углеводорода.

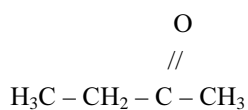
Кетонами называются производные углеводородов, содержащие карбонильную группу



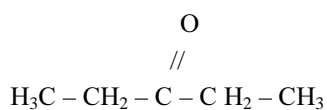
соединённую с двумя углеводородными радикалами. Например,



ацетон или диметилкетон
(пропанон)



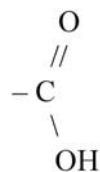
метилэтилкетон
(бутанон)



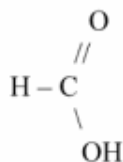
диэтилкетон
(пентанон – 3)

Систематические названия кетонов производятся добавлением суффикса **-он** к названию соответствующего углеводорода и при необходимости указанием номера атома углерода, при котором находится карбонильная группа .

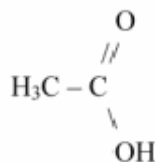
Карбоновыми кислотами называются производные углеводородов, содержащие *карбоксыльную функциональную группу*:



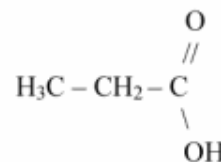
например:



муравьиная кислота
(метановая)

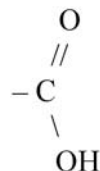


уксусная кислота
(этановая)



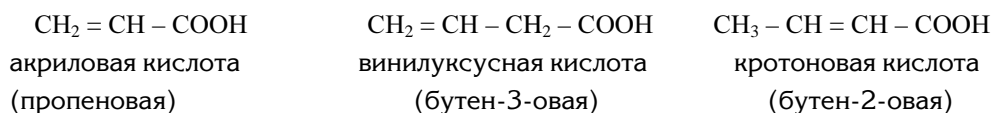
пропионовая кислота
(пропановая)

Следует подчеркнуть, что фрагмент



рассматривается в органической химии в качестве единой функциональной карбоксыльной группы, хотя формально состоит из двух групп – карбонильной и гидроксогруппы.

Карбоновые кислоты, включающие в свой состав кратные углерод-углеродные связи называются *непредельными* кислотами²⁸, например:



Непредельные кислоты относятся к органическим *соединениям со смешанными функциями*, то есть, включающими *различные* функциональные группы.

Систематические названия карбоновых кислот производятся добавлением окончания **-овая** к названию соответствующего углеводорода и слова «кислота».

Карбоновые кислоты, подобно неорганическим кислотам, при растворении в воде диссоциируют, отщепляя катион H^+ :

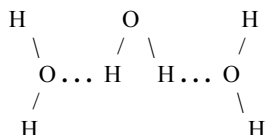


Физические свойства

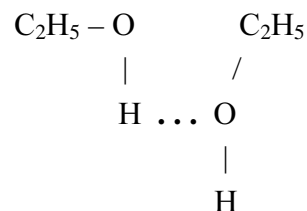
Даже низшие спирты – метанол и этанол являются жидкостями при нормальных условиях, в то время как соответствующие углеводороды представляют собой газы. Низшие альдегиды, кетоны и кислоты также являются жидкостями за исключением метанала, который кипит при -21°C . Такое агрегатное состояние кислородсодержащих органических соединений объясняется наличием водородных связей²⁹ между молекулами веществ, объединяющих эти молекулы в одно единое целое.

²⁸ Метановая, этановая и пропановая кислоты относятся к предельным кислотам

²⁹ Водородная связь представляет собой невалентное взаимодействие, обозначаемое тремя точками, например $\text{A} - \text{H} \dots \text{B}$, где В – атом, имеющий неподелённую электронную пару (N, O, S), А – атом, соединённый с водородом ковалентной связью. Это взаимодействие сводится к тому, что электрон атома водорода, смещаясь в сторону атома А, предоставляет свою, частично освобождённую орбиталь для пары электронов другой молекулы В. Многие физические свойства воды обусловлены именно водородной связью.



В этом случае $\text{A} \equiv \text{B} \equiv \text{O}$.



Хотя водородные связи намного слабее ионных и ковалентных связей, однако, их прочность достаточна для того, чтобы существенно влиять на агрегатное состояние веществ.

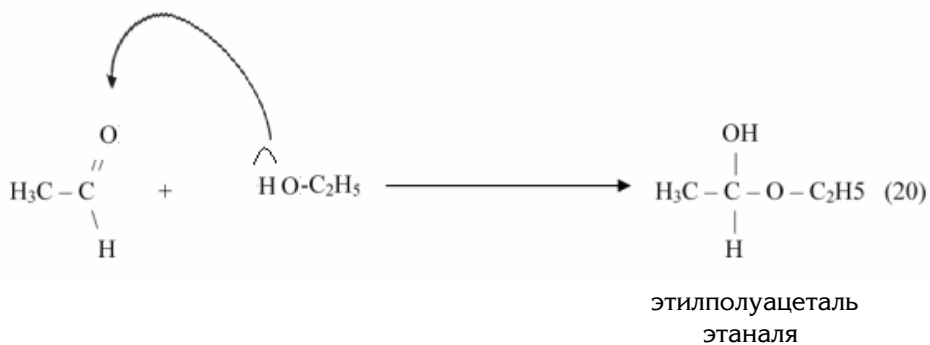
ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Реакции соединения. Присоединение к органической молекуле возможно только в том случае, если она содержит двойную или тройную связь, включающую в себя непрочную, легко разрывающуюся π -связь.

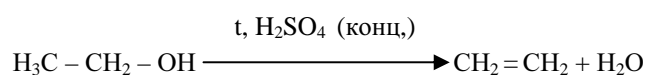


Аналогично присоединяют водород и другие альдегиды и кетоны. Однако, для карбоновых кислот реакции присоединения водорода не характерны.

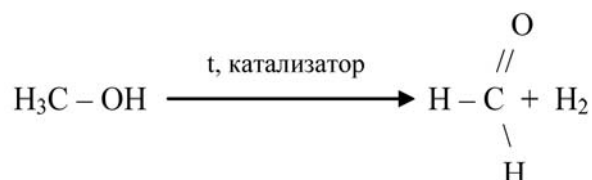
Кроме того, альдегиды способны соединяться со спиртами, образуя полуацетали:



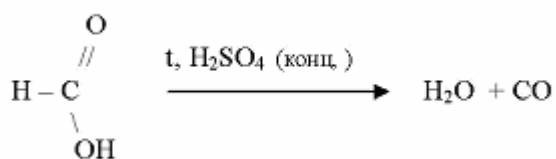
Реакции разложения. При нагревании до температуры 140°C и в присутствии концентрированной серной кислоты многие одноатомные спирты образуют алкены, отщепляя воду (реакция дегидратации):



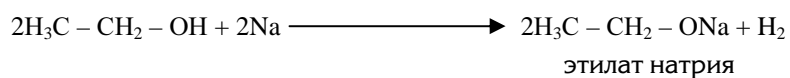
Метанол в результате отщепления водорода (реакция дегидрирования) может образовать метаналь



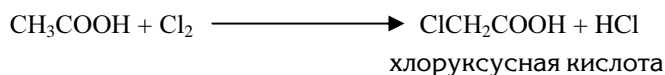
Муравьиная кислота при нагревании и в присутствии концентрированной серной кислоты разлагается на воду и угарный газ



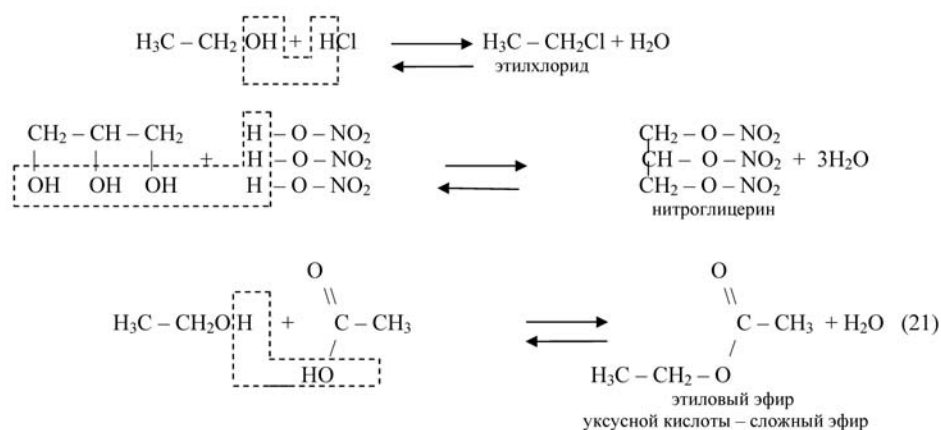
Реакции замещения. Подобно воде спирты реагируют с активными металлами



Благодаря наличию углеводородного радикала кислородсодержащие органические соединения могут вступать в реакции замещения с галогенами подобно алканам:



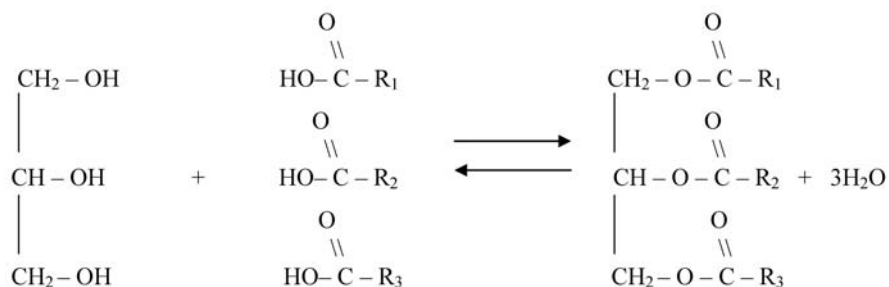
Реакции обмена. Спирты взаимодействуют с кислотами.



Обратите внимание, что механизм взаимодействия спиртов с карбоновой кислотой существенно отличается от механизма взаимодействия с неорганическими кислотами. Для образования воды карбоновая кислота предоставляет гидроксогруппу, в то время как неорганические кислоты предоставляют атомы водорода.

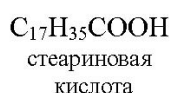
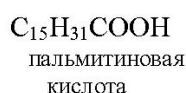
Реакции взаимодействия спиртов с карбоновыми кислотами называются *реакциями этерификации* (от лат. ester – эфир). Органические продукты реакции этерификации называются *сложными эфирами*.

Сложные эфиры, образованные в результате этерификации *глицерина* и карбоновых кислот называются *жирами*:



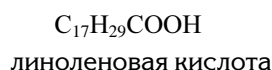
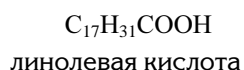
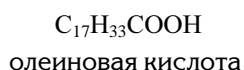
где $\text{R}_1 \text{ R}_2 \text{ R}_3$ – различные углеводородные радикалы - насыщенные и ненасыщенные.

Процесс, обратный этерификации глицерина, называется гидролизом жиров. Природные жиры³⁰, входящие в состав клеток растений и животных включают R₁, R₂ и R₃, содержащие от 3 до 25 атомов углерода. При гидролизе твёрдых природных жиров образуются только предельные карбоновые кислоты, наиболее распространёнными из которых являются пальмитиновая и стеариновая:

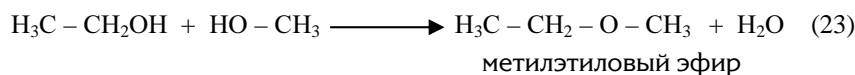
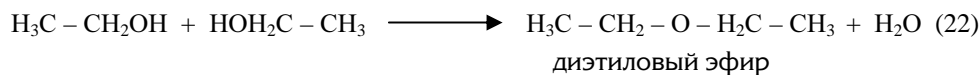


Кислоты с такими длинными углеводородными радикалами иногда относят к *высшим жирным кислотам*.³¹

При гидролизе жидких (преимущественно растительных) природных жиров образуются главным образом непредельные карбоновые кислоты, наиболее распространёнными из которых являются олеиновая, линолевая и линоленовая кислоты:



молекулы спирта могут взаимодействовать и друг с другом



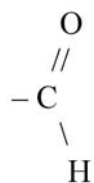
Органические продукты взаимодействия молекул спирта друг с другом называются *простыми эфирами*.

Причём, дегидратация спирта, протекающая с образованием простого эфира проводится в аналогичных условиях, что и дегидратация спирта, протекающая с образованием алкена, но при меньшей температуре и большей концентрации спирта.

³⁰ Природные жиры относятся к *липидам* – обширной группе природных органических соединений, включающей жиры и жироподобные вещества.

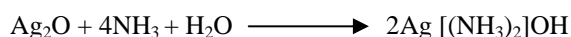
³¹ Термин «жирный» означает, что соединение ациклическое. Возник из-за того, что впервые природные карбоновые кислоты были выделены из жиров.

Взаимодействие альдегидов с аммиачным раствором оксида серебра до сих пор считается классической качественной реакцией, доказывающей наличие группы

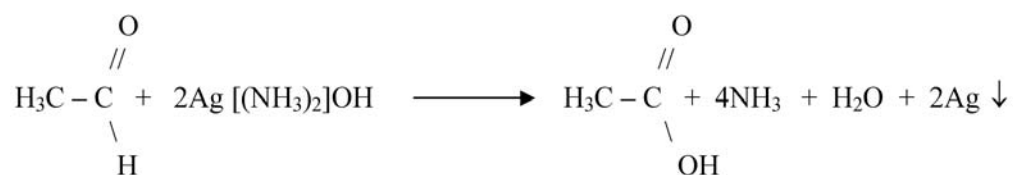


в молекуле вещества. Реакция очень эффектна, так как выделяющееся в результате серебро покрывает стенки реакционной пробирки, делая её поверхность зеркальной, отчего сам процесс называют реакцией «серебряного зеркала». Проводят его в две стадии:

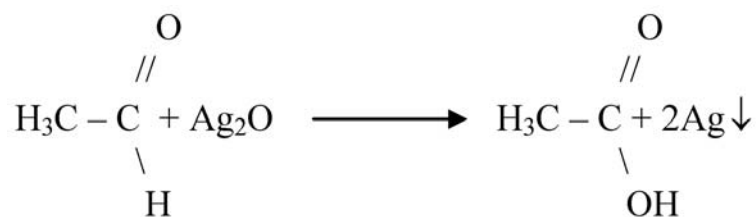
1. Растворяют оксид серебра в водном растворе аммиака



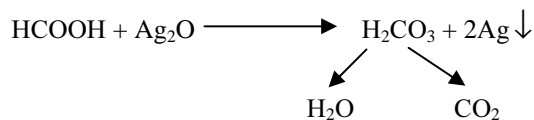
2. К полученному раствору добавляют альдегид и нагревают:



Если уравнения обеих стадий сложить, то суммарная схема процесса окажется следующей:

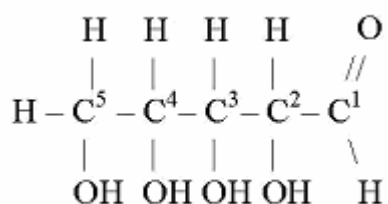


Однако, следует иметь в виду, что в реакцию «серебряного зеркала» вступает и метановая кислота,

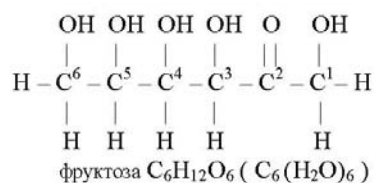
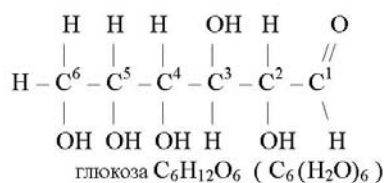


2.4.2.2. Углеводы

К кислородсодержащим органическим соединениям со смешанными функциями, помимо непредельных кислот, относятся также *углеводы* – вещества, химический состав которых может быть представлен формулой $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_m$, например:



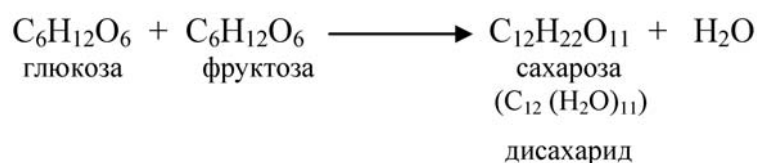
рибоза $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$ ($\text{C}_5(\text{H}_2\text{O})_5$)



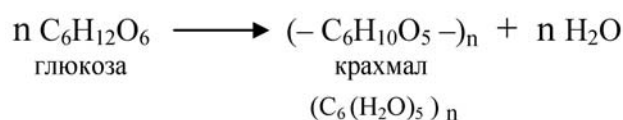
Однако, известно, что альдегиды способны вступать в реакцию присоединения со спиртами (см. раздел 2.3.2.1. Подраздел «химические свойства». Реакция (20)). Поскольку в приведённых примерах альдегидная группа и гидроксогруппа находятся при одной молекуле, то они могут соединяться, образуя замкнутый цикл. В водных растворах рибозы альдегидная группа соединяется с гидроксогруппой четвёртого атома углерода. В водных растворах глюкозы с гидроксогруппой пятого атома углерода. В водных растворах фруктозы может происходить соединение карбонильной группы с шестым атомом углерода или с пятым. То есть, в этих условиях существуют обе формы молекул углеводов – циклическая и ациклическая. Но равновесие между ними смещено, всё-таки, в сто-

рону циклических форм. Углеводы, циклическая форма молекул которых представляет собой один цикл, называются *моносахаридами*.

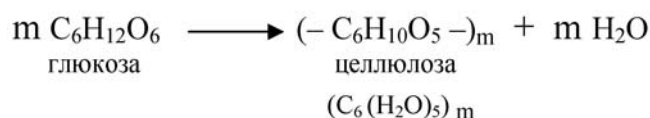
Подобно спиртам циклические формы молекул углеводов могут вступать в реакцию обмена между собой (см реакции (22) и (23)), образуя углеводы с большей молекулярной массой. Например:



Более того, поскольку углеводы содержат несколько гидроксогрупп, то они способны соединяться друг с другом многократно, образуя макромолекулы с огромной молекулярной массой. Например,



или (при других условиях процесса)

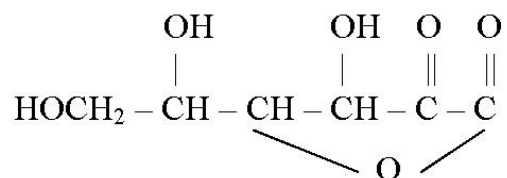


Таким образом, крахмал и целлюлоза представляют собой полимеры (полисахариды), мономером которых является глюкоза. Но целлюлоза отличается значительно большим значением молекулярной массы ($m \gg n$) и отсутствием разветвлений в цепи, характерных для молекул крахмала. Очень близок к крахмалу *гликоген* (животный крахмал), который откладывается в печени и является резервным веществом в организме человека и животных. Но молекулы гликогена значительно крупнее молекул крахмала и имеют ещё более разветвлённую структуру.

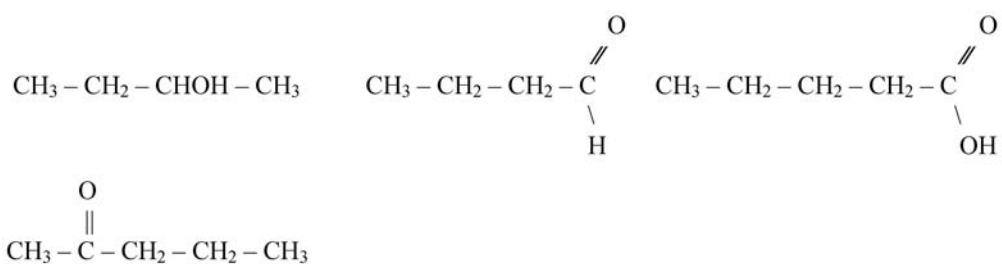
2.4.2.3. Витамины

Некоторые витамины – жизненно важные компоненты живых организмов – также относятся к кислородсодержащим соединениям со смешанными функ-

циями. В частности, витамин С (аскорбиновая кислота) представляет собой циклический эфир, содержащий карбонильную и гидроксогруппы:



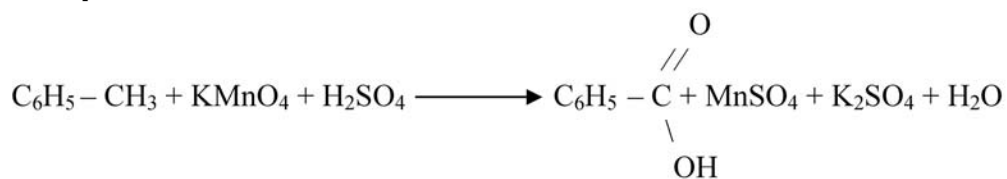
1. Дайте систематические названия следующим соединениям:



2. Охарактеризуйте химические свойства кислородсодержащих органических соединений, не являющихся углеводами. Что такое жиры? В чём состоит основное отличие химического состава жидких жиров от твёрдых жиров. Опишите реакцию серебряного зеркала.

3. Дайте определения следующим понятиям: углеводы, моносахариды, полисахариды. Приведите примеры этих веществ. Опишите разницу в строении молекул целлюлозы, крахмала и гликогена.

4. Пользуясь равенствами (6) и (7) раздела 2.2.2 расставьте коэффициенты в схеме реакции:

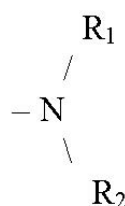


2.4.3. Азотсодержащие органические соединения

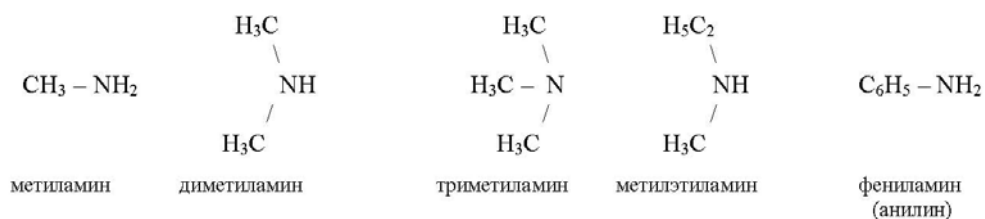
Производные углеводородов, содержащие азот, называются азотсодержащими органическими соединениями.

2.4.3.1. Амины

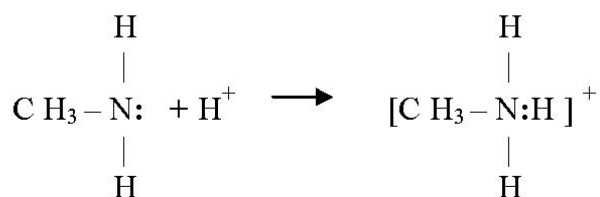
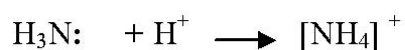
Производные углеводородов, содержащие функциональную группу:



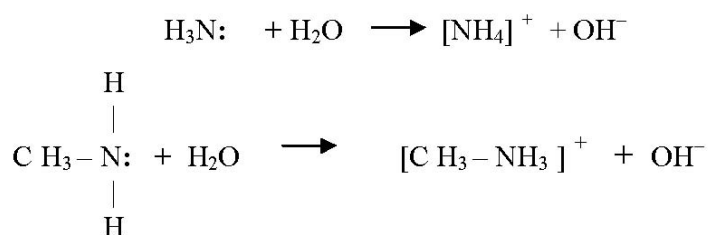
где R_1 и R_2 – углеводородные радикалы или водород, называются аминами. Группа $-\text{NH}_2$ называется амногруппой.



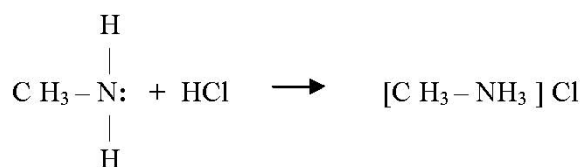
Благодаря тому, что атом азота содержит неподелённую пару электронов, все амины, также как и аммиак легко вступают в реакцию соединения с протонами:



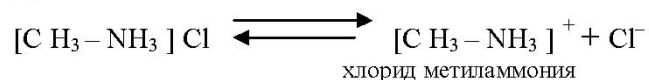
Причём, это взаимодействие настолько активно, что протоны «отбираются» у молекул воды и в растворе накапливается избыток анионов OH^- , то есть, среда становится основной:



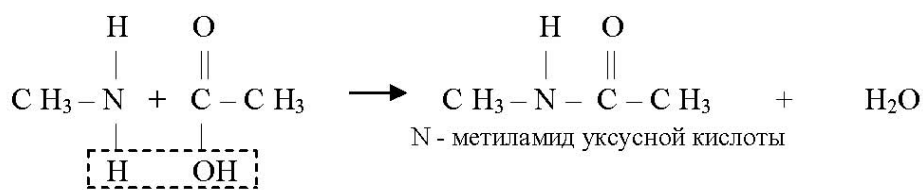
Поэтому амины считаются основаниями. При взаимодействии с неорганическими кислотами они образуют соли



которые в воде диссоциируют на ионы



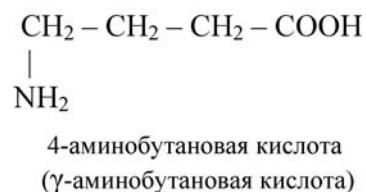
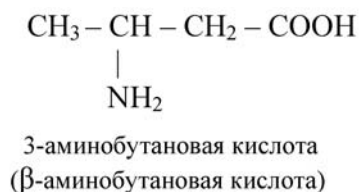
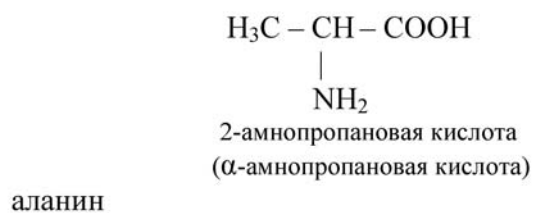
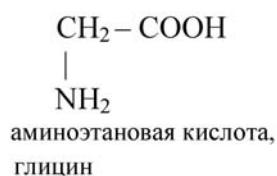
Однако, взаимодействуя с *карбоновыми* кислотами, амины ведут себя подобно спиртам в реакциях этерификации (реакция 21 на стр. 110), то есть, вступают в реакцию обмена, предоставляя для образования воды атом водорода:



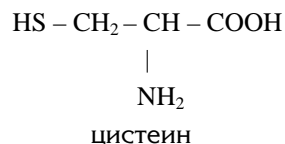
Образующийся при этом фрагмент $-\text{N}-\text{C}-$ называется *пептидной* или *амидной* группой, а связь между атомами углерода и азота в этой группе – *пептидной* или *амидной* связью.

2.4.3.2. Аминокислоты

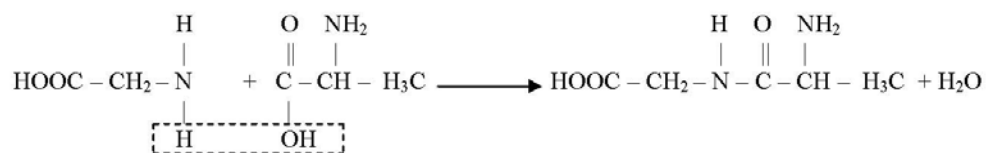
Аминокислотами называются органические соединения, содержащие аминогруппу и карбоксильную группу. Например:



Аминокислоты относятся к веществам со смешанными функциями. Кроме того, они являются азотсодержащими и кислородсодержащими одновременно. Некоторые природные аминокислоты содержат также серу, как, например, цистеин:



Наиболее характерным химическим свойством аминокислот является способность аминогруппы одной молекулы вступать в реакцию замещения с карбоксильной группой другой молекулы:



В результате образуется новая аминокислота, но уже с пептидной связью, способная взаимодействовать со следующей молекулой аминокислоты и образовать ещё одну пептидную связь. Последовательное увеличение количества пептидных связей в одной молекуле приводит к образованию полимеров, которые называются полипептидами.

2.4.3.3. Белки

Белки – важнейшая составная часть клеток живых организмов – представляют собой полипептиды, составленные взаимодействием различных α – аминокислот. Таким образом, белки можно рассматривать как полимеры, мономером которых являются α – аминокислоты. Молекулярные массы природных белков колеблются от нескольких десятков тысяч до нескольких сот тысяч а.е.м. Аминокислотные остатки, являющиеся звеньями полипептида называют аминокислотными звеньями. Последовательность аминокислотных звеньев в линейной полипептидной цепи называется *первичной структурой* белковой молекулы (рис.6).

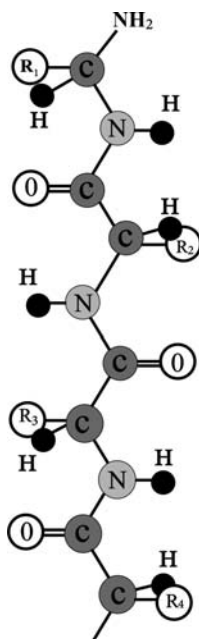


Рис.6. Первичная структура белков. R₁, R₂, R₃, R₄ – радикалы остатков аминокислот.

Благодаря многочисленным *водородным связям* между группами $-CO-$ и $-NH-$ первичная структура белков свёртывается в спираль, которая называется *вторичной структурой* белковой молекулы (рис.7).

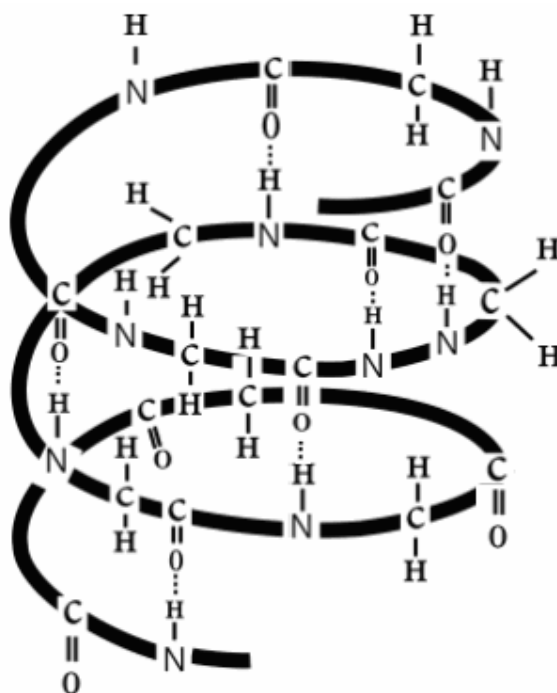


Рис.7. Вторичная структура белков

В свою очередь, вторичная структура также способна свернуться, образовав *третичную структуру* (рис.8).

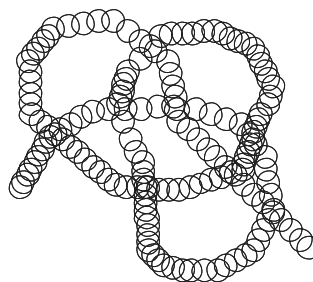


Рис.8. Третичная структура белков

Третичная структура поддерживается уже не только водородными связями, но также и ковалентными. В частности между атомами серы различных участков полипептида часто образуется дисульфидный мостик



Некоторые белковые макромолекулы могут соединяться друг с другом, образуя относительно крупные агрегаты. Подобные полимерные образования белков называются *четвертичными структурами*. Примером такого белка является гемоглобин, который представляет комплекс из четырёх макромолекул (рис.9). Оказывается, что только при такой структуре гемоглобин способен присоединять и транспортировать кислород в организме.

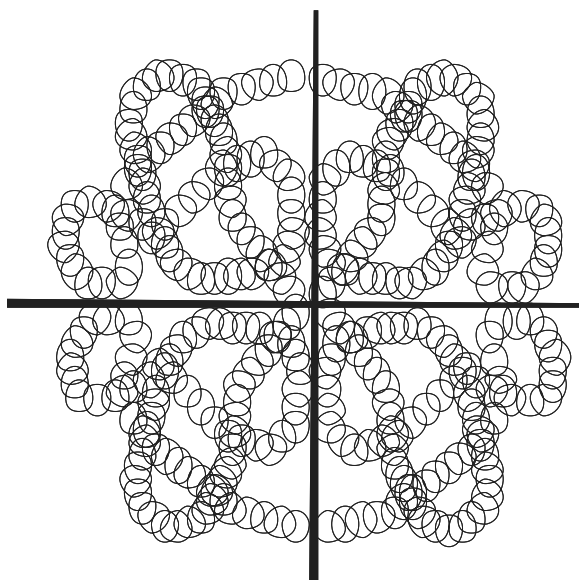
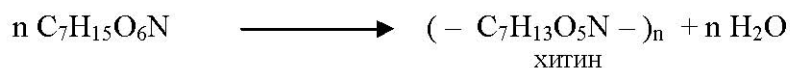
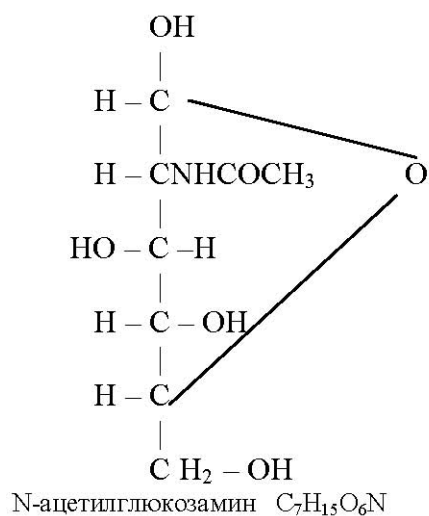


Рис.9. Четвертичная структура белков

2.4.3.4. Аминосахара

Важнейшими распространёнными в природе производными сахаров являются аminosахара.

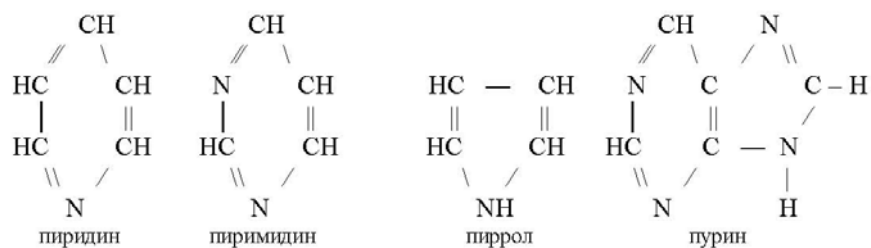
В частности, полисахарид *хитин* ракообразных, насекомых и грибов построен исключительно из N-ацетилглюкозаминных остатков:



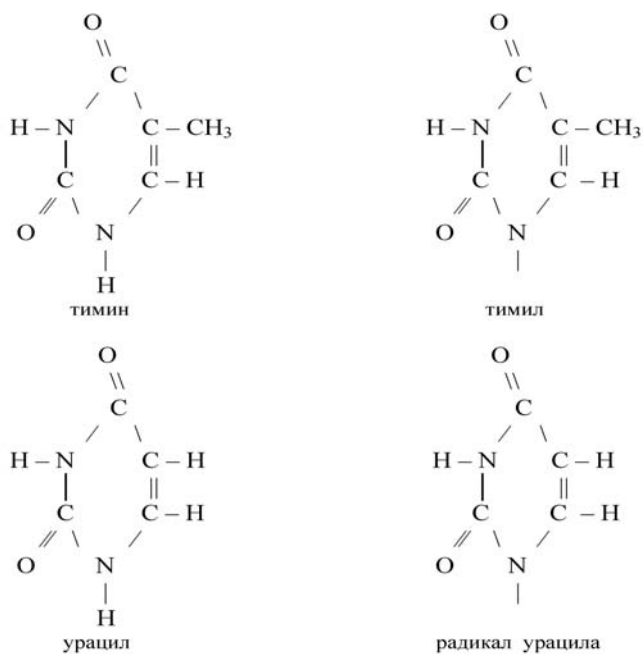
-
1. Приведите структурные формулы аминов и аминокислот, которые Вы знаете. Дайте им названия.
 2. Дайте определения следующим понятиям: пептидная группа, пептидная связь, полипептиды, белки. Приведите пример образования пептидной связи.
 3. Что представляют собой первичная, вторичная, третичная и четвертичная структуры белка?

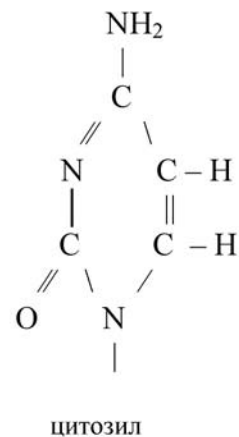
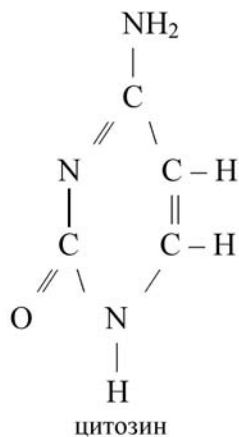
2.4.3.5. Азотсодержащие гетероциклические соединения.

Гетероциклическими называются такие циклические соединения, в циклах которых наряду с атомами углерода содержатся и атомы других элементов. Например, пиридин, пиримидин, пиррол и пури́н являются азотсодержащими гетероциклами, проявляющими примерно такие же основные свойства, как и амины:

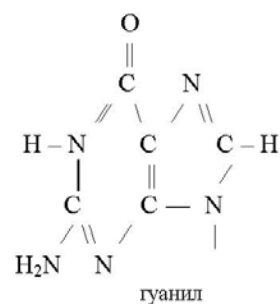
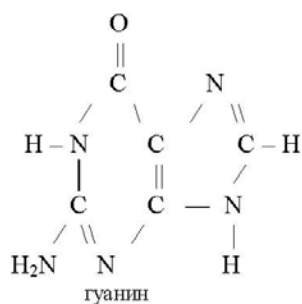
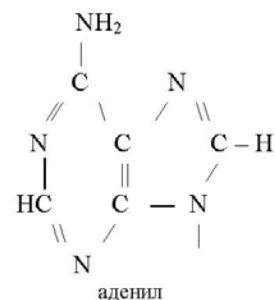
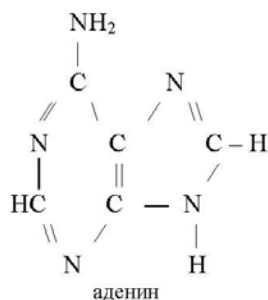


Важнейшими производными пиримидина являются *тимин*, *урацил* и *цитозин* – азотистые основания, радикалы которых входят в состав *нуклеиновых кислот*, являющихся неотъемлемыми компонентами клеток любого живого организма:





Помимо этого в состав нуклеиновых кислот входят также радикалы аденина (аденил) и гуанина (гуанил), являющиеся производными пурина:



Представителями нуклеиновых кислот являются рибонуклеиновые кислоты (РНК), в частности, информационные (матричные) рибонуклеиновые кисло-

ты (м-РНК), на которых и происходит синтез белков в организме. А также дезоксирибонуклеиновые кислоты.

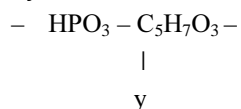
2.4.3.6. Рибонуклеиновые кислоты

Рибонуклеиновые кислоты – это полимерные кислоты, повторяющимся звеном которых являются *нуклеотиды*, состоящие из:

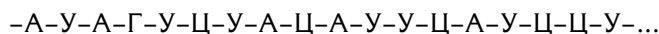
1. Остатка фосфорной кислоты – HPO_3 –
2. Остатка циклического моносахарида рибозы – $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_3$ –
|
3. Радикалов азотистых оснований, а именно таких как: аденин, урацил, гуанин, цитозин.

Полимеры, состоящие из нуклеотидов называются *полинуклеотидами*.

Например, если радикал урацила обозначить у, то молекулярную формулу одного из нуклеотидов можно представить следующим образом:



Поскольку различные нуклеотиды РНК отличаются только азотистыми основаниями, то нередко каждый нуклеотид обозначают прописной первой буквой названия этого нуклеотида. Поэтому фрагмент какой либо РНК можно представить так:



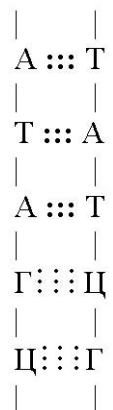
Первичная структура молекулы белка, синтезируемого на информационной рибонуклеиновой кислоте с помощью ферментов³², определяется именно последовательностью нуклеотидов на этой РНК. Набору из трёх азотистых оснований, который называется *триплет нуклеотидов* или *кодон*, соответствует одна и только одна α -аминокислота. В настоящее время насчитывается 20 таких аминокислот. Но одной аминокислоте может соответствовать несколько триплетов нуклеотида. Соответствие аминокислоты кодонам называется *генетическим кодом*. Реакции синтеза белка, у которого последовательность аминокислотных звеньев определяется последовательностью нуклеотидов информационной РНК, называются *реакциями матричного синтеза*.

³² Ферменты – это органические природные катализаторы биохимических процессов, протекающих в живых организмах.

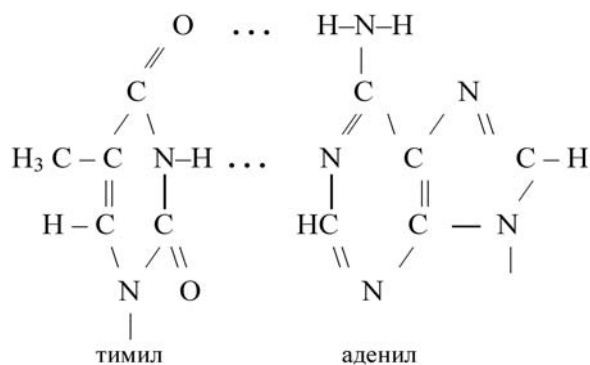
Последовательность нуклеотидов матричной РНК в свою очередь определяется последовательностью азотистых оснований в *дезоксирибонуклеиновой кислоте* (ДНК), на которой и происходит синтез м-РНК.

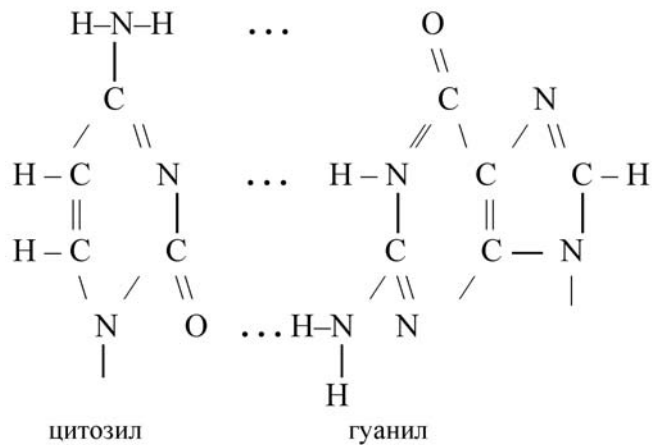
2.4.3.7. Дезоксирибонуклеиновые кислоты

Дезоксирибонуклеиновая кислота – это кислота, состоящая из двух полинуклеотидных цепей, соединённых между собой по принципу комплементарности (совместимости) водородными связями. Вместо радикала урацила, цепи ДНК содержат тимил. При этом А комплементарен Т, Г комплементарен Ц. То есть, фрагмент первичной структуры ДНК можно представить следующим образом:

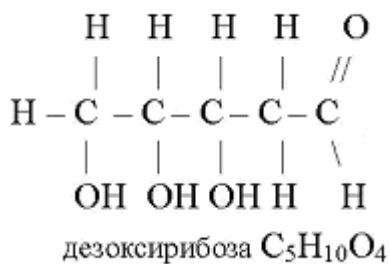


Действительно, аденил в ДНК образует водородную связь только с тимилом, а тимил, только с аденилом. Гуанил только с цитозилом, а цитозил только с гуанилом:

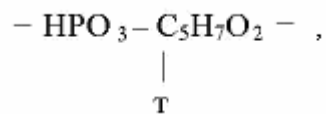




Другой особенностью химического состава ДНК, отличающей её от РНК является замена остатка циклического моносахарида рибозы ($C_5H_{10}O_5$) в нуклеотидах на циклический остаток дезоксирибозы $C_5H_{10}O_4$, что и обуславливает название кислоты:



Молекулярную формулу одного из нуклеотидов ДНК можно представить так



где T – тимил.

Вторичная структура ДНК представляет собой двойную спираль – две нити ДНК закручены одна вокруг другой (рис.10).

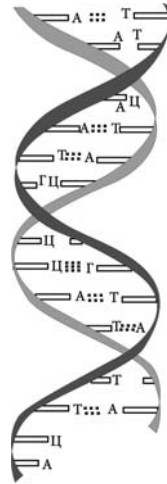


Рис. 10. Вторичная структура ДНК.

Ферментативный синтез м-РНК осуществляется на одной из цепей ДНК в соответствии с принципом комплементарности. При этом аденин ДНК комплементарен урацилу РНК, тимин ДНК комплементарен аденину РНК, гуанил ДНК комплементарен цитозилу РНК, цитозил ДНК комплементарен гуанилу РНК. Затем с м-РНК осуществляется матричный синтез белка. К каждому кодону информационной РНК доставляется соответствующая аминокислота с помощью транспортной РНК (т-РНК).

Таким образом, основным хранителем информации о структуре всех белков, вырабатываемых организмом является ДНК.

Отрезок ДНК, содержащий информацию о первичной структуре одного определённого белка, называется геном.

Процесс переписывания информации, содержащейся в гене ДНК на м-РНК называется транскрипцией.

-
1. В чём сходство и различия химического состава, строения ДНК и РНК?
Что такое ген?
 2. Каким образом в клетках живых организмов синтезируется и - РНК?
Что такое транскрипция?
 3. Что такое матричный синтез? Почему в качестве отдельной структурной единицы РНК рассматривают три соседних нуклеотида, а не два или, например, четыре?

3. БИОЛОГИЯ

(Повторите определение биологии, приведённое во введении)

Дословный перевод слова биология с латинского означает «наука о жизни» - “Bios” – жизнь, “logos” – наука.

Кроме классических разделов биологии (ботаника, зоология, анатомия, физиология и др.), в последние годы стали развиваться направления исследований, использующих открытия химии, физики, математики, кибернетики настолько широко, что стало невозможно определить, где заканчивается одна наука и начинается другая. В результате возник целый ряд современных разделов на так называемом «стыке»: биохимия, биофизика, молекулярная биология, генная инженерия и др. Общая биология изучает закономерности существования живых тел, общие для всех разделов биологии, как классических, так и современных.

3.1. ПОНЯТИЕ «ЖИЗНЬ». ПРОЦЕССЫ ЖИВОГО ОРГАНИЗМА. УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИВОГО.

Понятие «жизнь» настолько тесно взаимосвязано с понятием «организм», что они определяются друг через друга.

Жизнь – это совокупность процессов, обеспечивающих сохранение гомеостаза, развитие и размножение организма.

Организм – любое живое существо.

Гомеостаз – динамичное постоянство параметров и химического состава организма, сохраняющееся при изменениях параметров внешней среды, воздействующей на него.

Например, при колебаниях температуры окружающего воздуха от +30°С, до -30°С, температура тела здорового человека будет находиться в пределах от +36,2 до + 36,9С. Соотношение концентраций ионов Н⁺ и ОН⁻ в крови человека также не меняется при любом составе принятой пищи.

Развитие – возрастание уровня приспособленности к внешней среде за счёт необратимого изменения строения систем органов. Как правило, развитие организма сопровождается его *ростом* – увеличением размеров. В стадиях развития можно выделить два этапа – позитивное развитие и негативное развитие. При этом под негативным развитием подразумеваются деградация и старение, приводящие к уменьшению уровня приспособленности к внешней среде.

Существо признаётся живым, если в нём сохраняются процессы, обеспечивающие хотя бы одно из направлений, перечисленных в определении жизни. Например, если организм, по каким то причинам оказывается неспособным к размножению, но сохраняет способность поддерживать гомеостаз и развиваться, то такой организм считается живым. Если в силу особенностей организма не поддерживается в полном объёме гомеостаз (пресмыкающиеся, принимающие температуру окружающей среды), но сохраняется способность к развитию и размножению, такой организм также считается живым.

Следует отметить, что попытки экспериментального доказательства естественного происхождения жизни на земле из неживого материала, пока, нигде не увенчались успехом. Хотя, неорганические вещества при определённых условиях могут превращаться в органические, образовывать белковые молекулы и даже рибонуклеиновые кислоты, однако, получить из этого органического материала тело с характерными признаками жизни, ещё никому не удалось.

Между тем, стало известно, что на земле не существует геологических пород, не содержащих живого вещества. Хотя бы на уровне одноклеточных организмов. Даже самые древние породы, насчитывающие 3,5 миллиарда лет содержат включения, наличие которых можно объяснить только жизнедеятельностью микроорганизмов того времени. Всё это позволяет говорить о «геологической вечности» жизни на земле.

3.1.1 Свойства живого организма

Количество процессов, обеспечивающих и сопровождающих сохранение гомеостаза, развитие и размножение организма достаточно велико. Основные свойства живого вещества:

1. **Движение.** Многие животные организмы (одноклеточные, либо многоклеточные) способны активно передвигаться. У простейших (одноклеточных) организмов органами передвижения служат *реснички, жгутики, ложноножки, миофибриллы*, у многоклеточных организмов сложно развитые *конечности*. Для растений также характерна способность к движению, хотя и не столь выраженная: рассеивание семян и спор, передвижение с помощью корневищ и др.
2. **Рост.** Все живое способно увеличиваться в размерах и массе за счет деления клеток и растяжения тканей.
3. **Обмен веществ.** Это процессы питания, дыхания и выделения продуктов обмена.

4. **Раздражимость** – способность давать ответные реакции на различные раздражители (химические, физиологические и другие).

Реакция может быть самой разнообразной – от механического движения (одёргивание руки от горячего утюга) до изменения химического состава тканей (изменение окраски у хамелеона).

5. **Размножение**. Это, пожалуй, самый характерный признак живого. Любой живой организм производит себе подобных (стремление оставить после своего существования максимально большее количество потомков – свойство, генетически заложенное в каждом живом организме). Потомки сохраняют и, в свою очередь, передают генофонд родителей по наследству.

Совокупность перечисленных признаков, несомненно, характеризует живое как открытую систему, связанную с неживой природой обменом веществ и энергией, способную активно реагировать на изменения ее параметров и, по-возможности, оставлять потомство.

Итак, живой организм существует только при условии обмена веществ, результатом которого является ассимиляция или диссимиляция.

Метаболизм – это обмен веществ между организмом и внешней средой. Иногда под этим термином подразумевают обмен веществ между различными органами внутри организма. Таким образом, организм является открытой системой, постоянно обменивающейся веществами и энергией с внешней средой.



Рис.1. Простейшая схема метаболизма

Организмы поглощают из окружающей среды различные вещества (пища, атмосферный воздух) и выделяют в среду продукты обмена (рис.2). **АССИМИЛЯЦИЯ** (или пластический обмен) – это процесс использования веществ, поступающих в организм, для «строительства» его тела. **ДИССИМИЛЯЦИЯ** (энергетический обмен) – это процесс использования энергии, выделяющейся при окислении веществ, поступающих в организм.

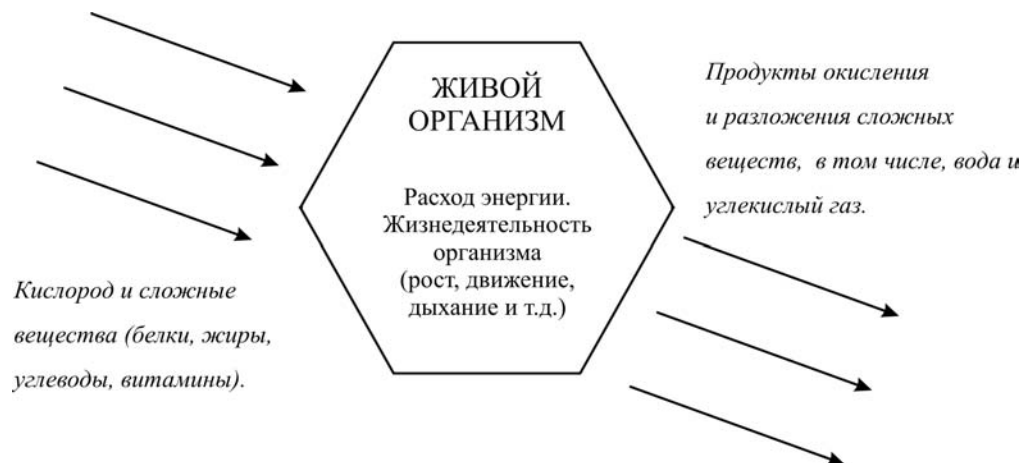


Рис.2. Схема обмена веществ между живым организмом и окружающей средой.

3.1.2. Особенности метаболизма живых организмов

Существуют две формы живых организмов по типу питания: *автотрофы* и *гетеротрофы*. *Автотрофы* – организмы, способные получать самостоятельное питание за счет воды, углекислого газа, энергии солнца, энергии химических реакций. К таким организмам относятся растения и некоторые виды бактерий. *Гетеротрофы* – организмы, питающиеся готовыми органическими веществами (животные, микроорганизмы).

Автотрофы. У растений энергия солнечного света преобразуется в энергию химических связей (растения – накопители солнечной энергии). Этот процесс называется *фотосинтезом*. За счет энергии солнца, CO_2 и воды образуются молекулы глюкозы (ассимиляция). В последствии, при распаде сахаров, освобождается энергия, необходимая растениям для осуществления процессов жизнедеятельности (диссимиляция).

Некоторые бактерии используют энергию химических связей (*хемосинтез*). Известны бактерии, извлекающие энергию окисления аммиака в азотную кислоту, другие извлекают энергию из окисления двухвалентного железа в трехвалентное (железобактерии), или окисления сероводорода до серной кислоты (серобактерии)

Гетеротрофы. Используют вещества, полученные с пищей. При распаде сложных молекул пищи образуются простые вещества. При этом процессе освобождается энергия, необходимая для жизнедеятельности организмов. Энергия запасается в митохондриях (рассмотрено в разделе «Клетка»).

3.1.3. Уровни организации живого

Существует несколько уровней организации живого, объединяющихся по принципу «матрешки» (рис.3):



Рис.3. Уровни организации живого.

1. Молекулярный

Все живое, существующее на Земле, состоит из молекул. Этот факт объединяет живую и неживую составляющие природы. На этом уровне происходят разнообразные процессы жизнедеятельности: обмен веществ, превращение энергии и т.д.

2. Клеточный

Биомолекулы, соединяясь друг с другом, образуют первичную структуру – основу всего живого – КЛЕТКУ.

3. Тканевый

Ткани – комплексы клеток, и неклеточного живого вещества, развивающиеся из одного зародышевого зачатка и имеющие общее строение и функции. Каждый многоклеточный организм представляет собой «сотканный» природой, уникальный объект, где все виды тканей (нервная, эпителиальная, соединительная, и мышечная), взаимодействуя между собой, образуют органы и системы органов, то есть организуются в следующий уровень – **4. Органный**)

5. Организменный

Системы органов (пищеварительная, костная, дыхательная и др.) представляют собой целостный взаимосвязанный организм³³.

6. Популяционно-видовой

Живые организмы создают популяции³⁴.

7. Биогеоценотический

Биогеоценозы – совокупность живых организмов и окружающей среды обитания этих организмов. Более подробно это понятие рассматривается в курсе экологии.

8. Биосферный

Самый высокий уровень организации жизни на Земле – биосфера (также рассматривается в курсе экологии). На этом уровне происходит круговорот веществ и энергии, обусловленный жизнедеятельностью организмов, населяющих планету.

По ориентировочным оценкам биомасса живого вещества составляет около 3 000 000 000 000 тонн!

1. Дайте определение понятию «жизнь». Сформулируйте основные свойства жизни.

2. Что такое организм? Каковы свойства живого организма?

3. Проанализируйте, почему организм называют открытой системой?

4. В чем заключаются особенности метаболизма различных групп живых организмов по типу питания?

³³ Организм может быть одноклеточным – самостоятельной свободноживущей клеткой, либо многоклеточным, т.е. представлять собой совокупность неразрывно связанных систем органов и тканей.

³⁴ Популяция – совокупность организмов одного вида, объединенная общностью территории, генофонда, экологической ниши.

5. Что такое «принцип матрешки» в применении к устройству организации живого? Какие выводы можно сделать при его анализе?

3.2. ПОНЯТИЕ О ЦИТОЛОГИИ. КЛЕТКА

Цитология – раздел биологии, изучающий жизнедеятельность клетки.

Множество простейших и микроорганизмов представляют собой существующие отдельно друг от друга клетки. Тела многоклеточных организмов построены из огромного числа клеток. Независимо от того, представляет собой клетка целостную живую систему, либо ее часть, она наделена набором признаков и свойств, характерных для всех клеток.

Клетка состоит из простых и сложных молекул белков, нуклеиновых кислот (ДНК и РНК), липидов, углеводов, минеральных веществ и, конечно же, воды. Белкам и нуклеиновым кислотам принадлежит основная роль в синтезе из простых микромолекул сложных макромолекул, в освобождении и превращении энергии из поступающих в клетку веществ.

Клетка – основная структурно-функциональная единица живого.

Клетка – биологически автономная система, способная самостоятельно осуществлять все процессы, присущие живой материи (рост, размножение, раздражимость и т.д.)

Впервые клетку наблюдал Р.Гук (1665 г., Англия) на срезах пробки через систему линз. Дальнейшее ведение микроскопических исследований принадлежит члену Королевского общества Неемии Грю (1641–1712 гг.), который собрал первый микроскоп в. Общие результаты своих исследований он изложил в четырехтомном трактате, опубликованном в 1682 г. Трактат этот носил длинное название «Анатомия растений с изложением философской истории растительного мира и несколько других докладов, прочитанных перед Королевским обществом».

Но изучение срезов тканей растительных и животных организмов в 17-18 веках носили описательный характер. Более подробное изучение жизнедеятельности клетки началось с усовершенствованием увеличительной техники в 19 веке. Немецкие ученые М. Шлейден и Т. Шванн (1839 г.) сопоставили ткани растительных и животных организмов, обнаружили общий принцип строения и роста тех и других клеток.

Позднее, благодаря открытию процессов роста и деления, а также ряда биохимических процессов клетки, сформировалась *клеточная теория*.

Основные положения классической клеточной теории:

1. Клетка – наименьшая структурная единица живого.
2. Все живые организмы состоят из клеток (одной – одноклеточный организм, или множества – многоклеточный организм).³⁵
3. Несмотря на огромное разнообразие внешних форм, все клетки сходны между собой по внутреннему строению, химическому составу и принципам жизнедеятельности.
4. «Клетка от клетки». Новые (дочерние) клетки возникают в результате деления исходной (материнской) клетки.

Клетки многоклеточного организма объединяются в ткани, ткани – в органы, органы в системы органов.

3.2.1. Химический состав клетки

Все вещества, входящие в состав клетки (и живого организма в целом) принято делить на две группы - группу неорганических веществ и группу органических веществ (рис.4):



Рис.4. Простейшая классификация веществ живых организмов.

³⁵ В настоящее время установлено, что вирусы, будучи неклеточными телами, при определённых условиях также проявляют все свойства живых организмов, представляя собой промежуточное звено между живыми и неживыми телами (раздел 3.4.).

3.2.1.1. Неорганические вещества.

Вода.

Воды в организме содержится, в среднем 83%. Функции воды:

- а) Вода является прекрасным растворителем. Вещества, растворенные в воде, проникают в клетку, обеспечивая ее питание.
- б) Продукты обмена выводятся из организма также в виде водных растворов (см. раздел «Цитоплазма»).
- в) Вода поддерживает тургор (упругость) клетки.
- г) Все биохимические процессы (окисление – восстановление, синтез – разложение, каталитические реакции и т.д.) происходят в водной среде.
- д) Кроме того, вода обладает большой теплоемкостью и теплопроводностью, что обеспечивает гармоничное распределение и сохранение тепла в организме.

1. Макро- и микроэлементы.

Неорганические вещества, входящие в состав клетки подразделяют на макроэлементы и микроэлементы (рис.5):

НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА ЖИВОГО ОРГАНИЗМА

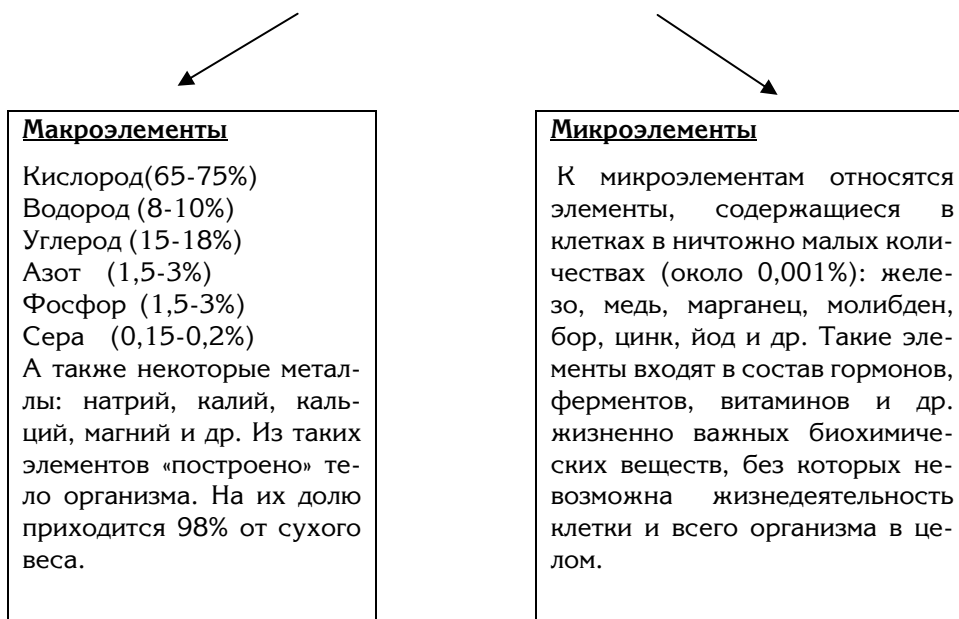


Рис.5. Микроэлементы и макроэлементы живого организма

3.2.1.2. Органические вещества.

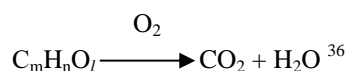
Липиды.

(Повторите реакции обмена в разделе 2.4.2.1.)

Липиды – производные высших жирных кислот, химический состав которых можно представить формулой $C_mH_nO_l$. К липидам, в частности, относятся жиры, химический состав которых подробно рассматривается в курсе органической химии. При этом, жидкие жиры (масла) чаще растительного происхождения (исключение – рыбий жир), твёрдые – животного происхождения (исключение – пальмовое масло).

Функции липидов:

1. **Строительная.** Липиды входят в состав всех биологических мембран.
2. **Энергетическая.** Липиды являются источником энергии для организма. При окислении 1 г липидов до CO_2 и H_2O выделяется 39 кДж энергии:



Выделяющаяся при этом вода называется метаболической.

3. **Теплоизоляционная.** Липиды – отличный теплоизолятор. Эта функция играет большую роль при адаптации организмов к холодной среде обитания, например, моржей и тюленей в холодных водоёмах.

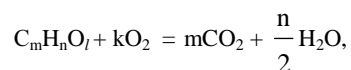
4. **Влагообеспечивающая.** Как видно из функции 2, жиры служат дополнительным источником воды в организме. Эта функция особенно важна для обитателей засушливых зон.

Углеводы.

(Повторите раздел 2.4.2.2.)

Углеводы, входящие в состав живых клеток, подразделяют на простые и сложные (рис.6)

³⁶ Приведённую схему можно представить более строгим уравнением:



$$\text{где } 2m + \frac{n}{2} = l + 2k$$



Рис. 6. Простейшая классификация углеводов, входящих в состав живых клеток.

Функции углеводов:

1. **Энергетическая.** Основным источником энергии для организма являются простые сахараиды. Важнейшим из них является глюкоза. При окислении 1 г глюкозы освобождается 17,6 кДж энергии. Некоторые сложные углеводы представляют собой дополнительный запас энергии. В частности, организм получает значительное количество энергии для жизнедеятельности при окислении полимерных молекул крахмала (в телах растений) или гликогена (в телах животных).

2. **Строительная.** Сложные углеводы являются строительным материалом для некоторых живых организмов. Например, целлюлоза входит в состав древесины, а хитин – в наружный скелет насекомых.

Белки.

(Повторите раздел 2.4.3.3.)

Белки – сложные полимеры. На долю белков приходится 50% от сухой массы живого организма. Белки – уникальная природная форма, из которой состоят все живые организмы планеты. В организме человека встречаются 5 млн типов белков, отличающихся не только друг от друга, но и от белков других организмов.

Белки состоят из аминокислот (мономеров), соединенных друг с другом в определенной последовательности, присущей только определенному организму. Всего известно 20 разновидностей аминокислот. В молекуле белка эти аминокис-

кислоты соединены друг с другом прочной пептидной связью³⁷. В состав 1 молекулы белка входят от 51 до нескольких сотен аминокислот.

Функции белков:

1. **Строительная.** Белки входят в состав всех вещественных биологических структур: клеток, тканей, органов, крови (рис.7).



Рис. 7. Простейшая классификация белков, реализующих строительную функцию

2. **Каталитическая.** Группа белков, являющихся катализаторами биохимических процессов, называется ферментами. Некоторые ферменты ускоряют протекание реакций в десятки и сотни тысяч раз. Схема работы ферментов с субстратами – веществами, вступающими в биохимический процесс, приведена на рис. 8.

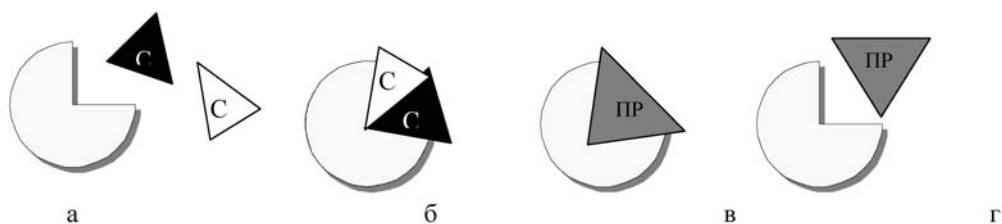


Рис. 8. Схема работы ферментов:

а – сближение субстратов (С) с ферментом.; б - образование фермент-субстратного комплекса; в – превращение субстратов в продукты реакции (ПР); г – разъединение продуктов реакции и фермента.

³⁷ Подробно строение молекулы белка рассматривается в курсе органической химии.

3. Транспортная. Существует ряд белков, транспортирующих вещества к различным тканям (например, гемоглобин – белок, переносящий кислород к клеткам) и удаляющих продукты обмена. Многие молекулы (например, сахара) не способны проникнуть в клетку без помощи специфических белков-переносчиков.

4. Гормональная. Гормоны – биологически активные вещества, вырабатываемые железами внутренней секреции и регулирующие физиологические процессы в организме. При недостатке гормонов возникают патологические изменения, приводящих к заболеваниям и даже гибели организма. Некоторые из гормонов являются белками.

5. Защитно-иммунная. Белки, входящие в состав иммунных клеток (лейкоцитов) обеспечивают защиту от бактерий и вирусов. Эти белки (антитела) связываются с чужеродными организму веществами, образуя комплекс, который затем удаляется из организма

7. Двигательная. Некоторые из белков, входящих в состав мышц способны сокращаться, а, значит, приводить организм в движение.

8. Энергетическая. Иногда, хотя и достаточно редко, белки могут служить дополнительным источником энергии. При окислении 1 г белка освобождается 17,6 кДж.

Нуклеиновые кислоты.

(Повторите раздел 2.4.3.7.)

Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК)

Современная структурная модель ДНК была впервые предложена американским биологом Дж. Уотсоном совместно с английским физиком Ф.Криком в 1953 году и представляет собой две полинуклеотидные цепи, соединённых водородными связями и закрученные в спираль (рис. 12 раздела 3.4.3.7.). В каждой цепочке содержится от пятисот до нескольких сотен тысяч нуклеотидов. Условная схема строения нуклеотида представлена на рис. 9.

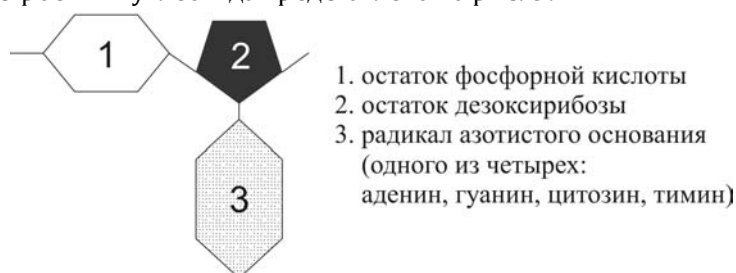


Рис.9. Схема строения нуклеотида ДНК (см. стр. 127).

В нуклеотидах ДНК остаток фосфорной кислоты и дезоксирибоза – неизменные составляющие, в то время как азотистых оснований существует 4 разновидности: *аденин, гуанин, цитозин и тимин*. Поэтому каждый нуклеотид принято обозначать тем же названием, что и азотистое основание, входящее в его состав (аденин, гуанин, цитозин, тимин). Поскольку водородные связи в ДНК могут возникать только попарно, по принципу комплементарности: аденин (А) связывается только с тимином (Т), гуанин (Г) – только с цитозином (Ц), то, зная последовательность одной цепи, можно составить последовательность второй цепи.

При определённых условиях, перед делением клетки, ДНК объединяется с многочисленными белками в единый комплекс, который называется хромосома (рис. 10).



Рис. 10. Структуры различных хромосом:

- 1 - метацентрическая хромосома (с одной перетяжкой, делящей хромосому на два равных плеча);
- 2 - субметацентрическая хромосома (с плечами неодинаковой длины);
- 3 - акроцентрическая хромосома (с очень коротким, почти незаметным вторым плечом).
- 4 - спутничная хромосома (с вторичной перетяжкой, отделяющей маленький участок – спутник).

Уникальность дезоксирибонуклеиновой кислоты состоит в том, что её молекула является хранилищем сведений о составе всех белков, вырабатываемых организмом, а, значит, содержит в себе информацию обо всех его внешних и внутренних признаках, причём, передаваемую из поколения в поколение от родителей – потомству. Биологическая передача сведений потомству о своих признаках осуществляется благодаря *репликации ДНК*.

Репликация ДНК

Репликация ДНК – это процесс её удвоения, протекающий с участием специальных ферментов при подготовке клетки к делению. Репликацию можно условно разделить на три стадии (рис.11):

1. Раскручивание двойной спирали ДНК с одного конца под действием фермента.
2. Достаивание по принципу комплементарности новых цепей на разъединившихся прежних цепях.
3. Окончательное формирование двух новых ДНК. В каждой из них одна цепь принадлежала прежней ДНК, а вторая достроена по принципу комплементарности.

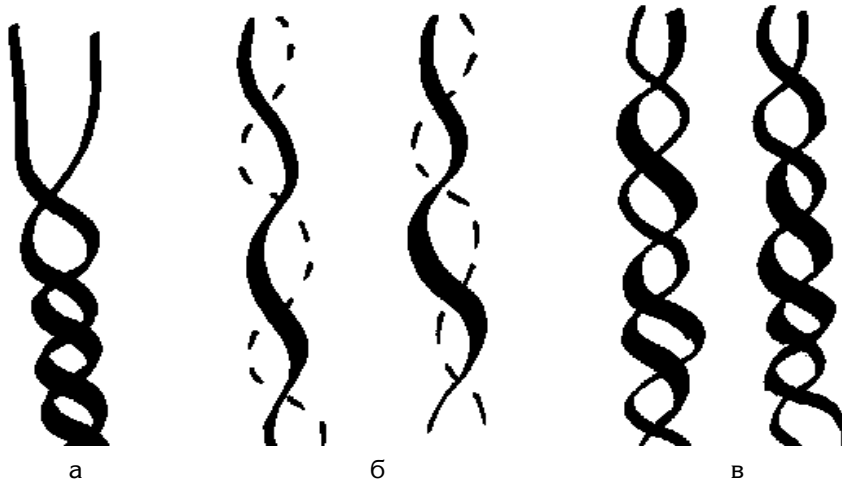


Рис. 11. Схема репликации ДНК:

а – раскручивание двойной спирали ДНК; б – достаивание новых цепей на разъединившихся прежних цепях; в - окончательное формирование двух новых ДНК

Таким образом, при делении клетки обе дочерние клетки получают совершенно одинаковые ДНК.

Рибонуклеиновая кислота

(повторите раздел 2.4.3.6.)

Также как и ДНК, молекула рибонуклеиновой кислоты (РНК) представляет собой полинуклеотидную цепь. В отличие от ДНК она одноцепочечная и

содержит намного меньше нуклеотидов. Другим существенным отличием РНК от ДНК является химический состав нуклеотидов: нуклеотиды РНК содержат остаток рибозы вместо дезоксирибозы (рис.12) и вместо тимина в составе нуклеотидов РНК находится *урацил*.

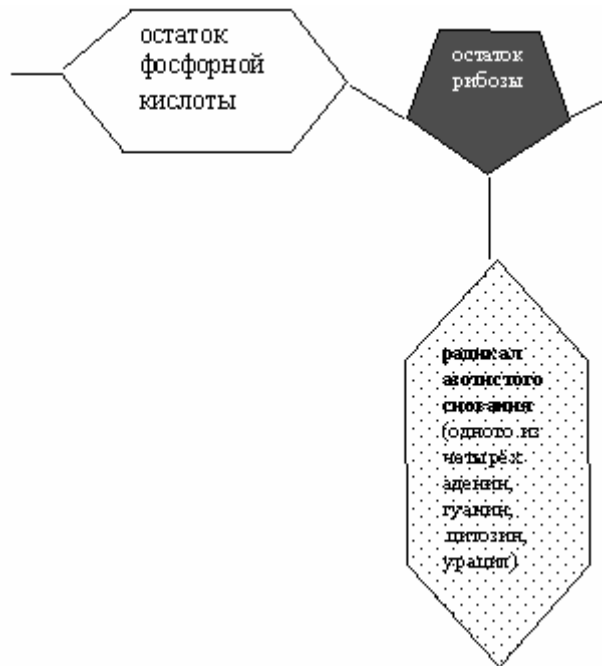


Рис.12. Схема строения нуклеотида РНК (см. стр. 125).

Основная функция РНК – участие в синтезе белковых молекул. В зависимости от характера этого участия РНК подразделяют на *матричные или информационные* (мРНК), *транспортные* (тРНК), *рибосомальные* (рРНК):

- мРНК копирует с ДНК информацию о структуре белка, который нужно синтезировать и доставляет её к месту синтеза;
- (тРНК) – доставляет необходимые аминокислоты и в определенном порядке к месту синтеза белка;
- (рРНК) – входят в состав рибосом – внутриклеточных частиц, на которых и происходит синтез белка. Иногда рибосомы называют главными «рабочими» синтеза белка.

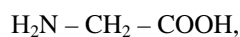
Реализация генетической программы

Участок ДНК, содержащий сведения о первичной структуре одного определённого белка, называется **геном**. Совокупность всей информации обо всех белках, хранящаяся в ДНК иногда называют генетической программой. Последовательность нуклеотидов ДНК определяет аминокислотную последовательность молекулы белка. Эта зависимость между молекулой ДНК и строением белковой молекулы называется **генетический код**. Генетический код известен для всех 20 аминокислот. Процесс информации генетического кода в конкретный белок протекает следующим образом:

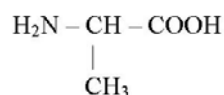
1. С помощью специальных ферментов на поверхности гена формируется комплементарная цепь матричной РНК. В данном случае ген является матрицей с которой делается слайпок - м-РНК .

2. Образовавшаяся м-РНК перемещается к месту синтеза белка – к рибосомам.

3. Сюда же к месту сборки белковой молекулы «доставляются» посредством тРНК определенные аминокислоты, последовательность построения которых записана на мРНК. Набору из трёх азотистых оснований, который называется *триплет нуклеотидов* или *кодон*, соответствует одна и только одна аминокислота. Например, возле нуклеотидной последовательности ГГЦ может закрепиться только глицин

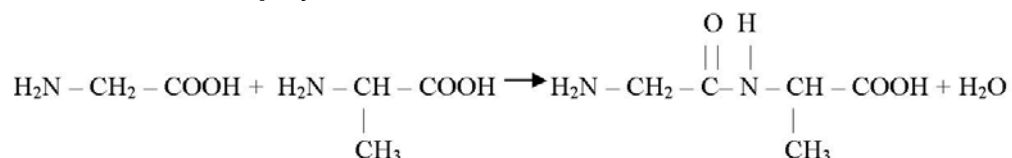


а возле кодона ГЦУ – только аланин



Всего в построении белковой молекулы участвует 20 различных аминокислот.

4. Между располагающимися в строго определённой последовательности аминокислотами образуется пептидная связь



и постепенно формируется молекула белка. Следует подчеркнуть, что синтез белковых молекул осуществляется при активном участии огромного количества всевозможных ферментов.

-
1. Что такое клетка? В чем заключается ее биологическое значение?
 2. В чем заключаются основные положения клеточной теории Шлейдена – Шванна?
 3. Какие вещества неорганической природы включены в состав клетки? Объясните их значение.
 4. Какое значение для клетки имеют органические вещества: липиды, углеводы и белки?
 5. Что такое ДНК? Расскажите о ее строении. Каково значение ДНК для клетки?
 6. О чем гласит принцип комплементарности в построении молекулы ДНК? Произвести достройку молекулы ДНК: А-Г-Г-Г-Ц-А-Т-Г-Т-Т-А-Ц-Г-Ц.
 7. Задача: в молекуле ДНК 19% цитозина. Определить количество остальных нуклеотидов.
 8. В чем биологический смысл репликации ДНК?
 9. В чем особенности строения РНК? Какие виды РНК встречаются в клетке и какую функцию осуществляют?
 10. Каким образом происходит реализация генетической программы? В чем ее биологический смысл?

3.2.2. Строение клетки

Размеры клетки широко варьируют от 0,1 мкм (некоторые бактерии) до 155 мкм (яйцо страуса). У всех клеток, независимо от их формы, размеров, функциональной нагрузки обнаруживается сходное строение (рис.13).

Снаружи клетка одета *мембраной*. Внутренняя часть клетки содержит многочисленные *органойды* – структурные образования клетки, выполняющие определенные функции жизнедеятельности клетки.

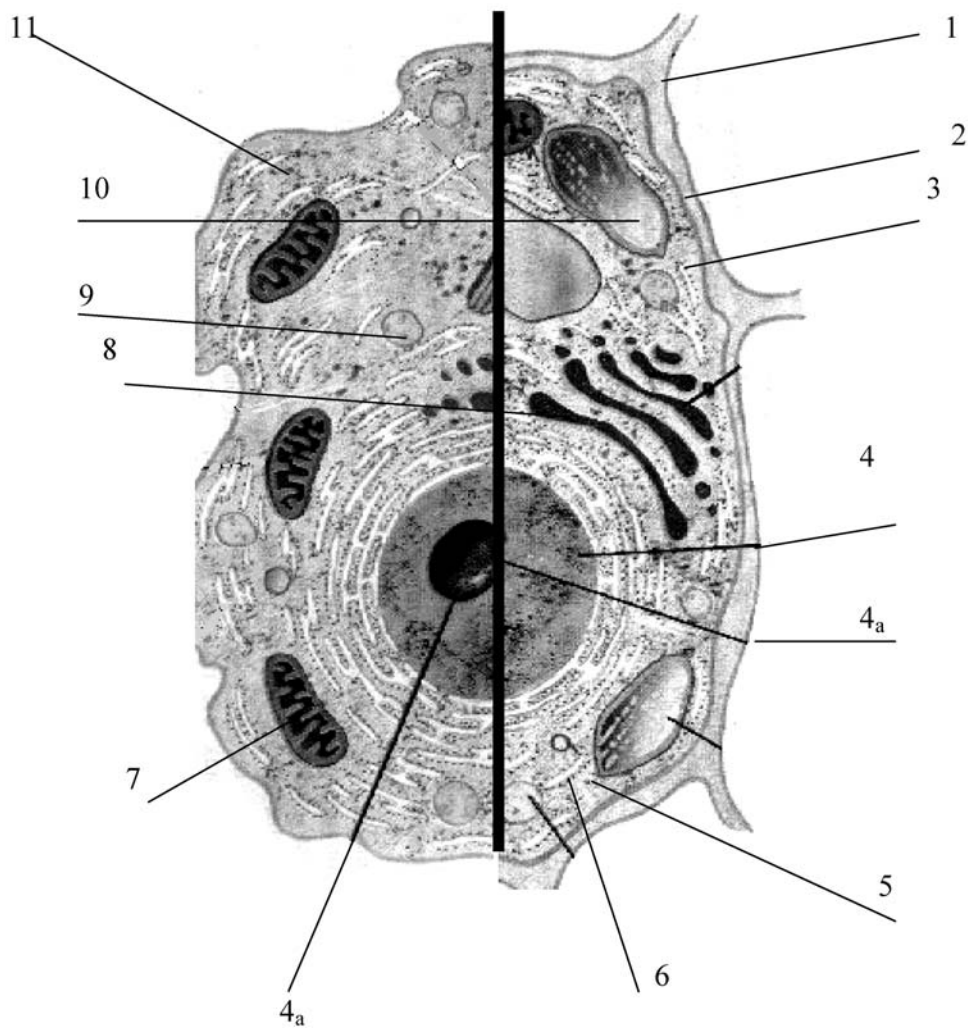


Рис. 13. Схема строения живой клетки:

1 - Оболочка, 2 - Мембрана, 3 - Цитоплазма, 4 - Ядро, 4а - Ядрышко, 5 - Рибосомы, 6 - Эндоплазматическая сеть (ЭПС), 7 - Митохондрии, 8 - Комплекс Гольджи, 9 - Лизосомы, 10 - Пластиды, 11 - Клеточные включения.

1. Оболочка. Присутствует только у растительных клеток. Состоит из волокон целлюлозы. Функции оболочки: защита клетки от внешних повреждений, придает стабильную форму клетки, эластичность растительным тканям.

Повреждение наружной оболочки приводит к гибели клетки (цитоллиз).

2. Мембрана. Тончайшая структура (75 нм), состоит из двойного слоя молекул липидов и одного слоя белков. Такая структура обеспечивает уникальную эластичность и прочность мембране

Функции мембраны:

участие в обмене веществ. Эта функция связана с избирательной проницаемостью в клетку определенных веществ и выведение из нее продуктов обмена. В процессе питания в клетку могут проникать определенные растворы веществ (*пиноцитоз*) и твердые частицы (*фагоцитоз*).

Фагоцитоз – поглощение клеткой твердых частиц.

Явление фагоцитоза впервые был описан русским врачом Мечниковым. Фагоцитарная особенность лежит в основе процесса иммунитета. Особенно развита у лейкоцитов, клеток костного мозга, лимфатических узлов, селезенки, надпочечников и гипофиза.

Пиноцитоз – поглощение клеткой растворов. Мельчайший пузырек жидкости втягивается через образовавшуюся воронку, проникает через мембрану и усваивается клеткой.

3. Цитоплазма – внутренняя среда клетки. Представляет собой гелеобразную жидкость (коллоидная система), состоит на 80% из воды, в которой растворены белки, липиды, углеводы, неорганические вещества. Цитоплазма живой клетки находится в постоянном движении (циклоз).

Функции цитоплазмы:

- ▶ транспортировка питательных веществ и утилизация продуктов обмена клетки;
- ▶ буферность цитоплазмы (постоянство физико-химических свойств) обеспечивает гомеостаз клетки, поддерживает постоянные нужные параметры жизнедеятельности;
- ▶ поддержание тургора (упругость) клетки.
- ▶ все биохимические реакции происходят только в водных растворах, что обеспечивается в среде цитоплазмы.

4. Ядро – обязательный органоид всех живых клеток от дрожжей до человека. Впервые было исследовано и описано Р. Броуном в 1831 г. В молодых клетках расположено в центре клетки, в старых – смещается в сторону. Снаружи ядро

окружено мембраной с крупными порами, способными пропускать крупные макромолекулы. Внутри ядро заполнено клеточным соком – *кариоплазмой*, основная часть ядра заполнена *хроматином* – ядерным веществом, содержащим ДНК и белок. Перед делением хроматин образует палочковидные **хромосомы** (рис.10). Причём, хромосомы одинакового строения (но содержащие разные ДНК!) образуют пары, зрительно воспринимаемые как одно целое (рис. 14).



Рис. 14. Хромосомный набор человеческой клетки перед началом деления.

Структурирование всех хромосом в пары свидетельствует о том, что число хромосом – чётное. Поэтому, его часто обозначают $2n$, где n – количество хромосомных пар, а соответствующий набор хромосом называют **диплоидным**. Например, у голубей $n=40$ (80 хромосом), у мухи $n=6$ (12 хромосом), у собаки $n=39$ (78 хромосом), у аскариды $n=1$ (2 хромосомы). У человека $n=23$ (46 хромосом). Однако, в половых клетках число хромосом в два раза меньше. Поэтому набор хромосом в половых клетках называется **гаплоидным**. Клетки, не являющиеся половыми называются **соматическими**. Иногда клетки с гаплоидным набором хромосом называют гаплоидными клетками, а с диплоидным набором хромосом – диплоидными клетками.

При слиянии двух родительских гаплоидных половых клеток образуется диплоидная клетка, дающая начало новому организму с набором генов отца и матери

Совокупность всех хромосом ядра (а значит и генов) клетки называется **генотип**. Именно генотип определяет все внешние и внутренние признаки конкретного организма.

В соматических клетках 44 X-образные хромосомы (22 пары) у женщин и мужчин идентичны (сходны по строению), их называют *аутосомами*. А 23-я пара имеет конфигурацию XX – у женщин и XY – у мужчин. Эти пары хромосом именуется *половыми хромосомами*.

В половых клетках 22 хромосомы также одинаковые у яйцеклеток и у сперматозоидов, а 23-я хромосома конфигурации X – у яйцеклетки и X или Y – у

сперматозоидов. Поэтому при слиянии половых клеток и образовании пар хромосом, 23-я пара будет ({XY} или {XX}) определять пол будущего ребенка.

Необходимо помнить, что хотя в соматических клетках набор хромосом диплоидный ($2n$), однако, перед началом деления клеток происходит репликация ДНК, то есть, удвоение их количества, а, значит, и удвоение количества хромосом. Поэтому перед началом деления соматической клетки в ней насчитывается $4n$ хромосом (рис. 16). Она становится *тетраплоидной*.

Функции ядра:

- хранение генетической информации;
- Контроль за *всеми* процессами, происходящими в клетке: делением, дыханием, питанием и др.

4а. Ядрышко – структура, содержащаяся в ядре. Ядро может содержать 1, 2 или более ядрышек. Функция ядрышка – формирование рибосом.

Следует отметить, что не все клетки имеют оформленное ядро. Клетки, имеющие ядро называются *эукариотическими* или эукариотами. Клетки, не имеющие ядра, называются *прокариотическими* или прокариотами.. Функции ядра у прокариот несёт одна нить ДНК (именуется хромосома), в которой хранится вся генетическая информация. К прокариотам относятся бактерии и синезеленые водоросли. Как правило, у прокариотов отсутствуют и некоторые другие органоиды. Размеры прокариотических клеток меньше, чем размеры эукариот.

5. Рибосомы – самые мелкие органоиды клетки. Были обнаружены в 1954 г. Французским ученым Паладом. Рибосомы были обнаружены в цитоплазме, а также на гранулярной ЭПС и в ядре.

Функция рибосом: обеспечение биосинтеза белка.

6. Эндоплазматическая сеть. Представляет собой каналы и полости, ограниченные мембраной. Различают две разновидности ЭПС: гранулярная ЭПС и агранулярная ЭПС. Гранулярная ЭПС морфологически отличается от агранулярной наличием на ее поверхности многочисленных рибосом (на агранулярной ЭПС рибосомы отсутствуют).

Функции эндоплазматической сети:

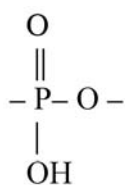
- участие в синтезе органических веществ: на гранулярной ЭПС синтезируются белки, на агранулярной – липиды и углеводы;
- транспортировка продуктов синтеза ко всем частям клетки.

Несложно уяснить, что гранулярная ЭПС характерна для клеток, синтезирующих белки (например клетки желез внутренней секреции), аграну-

лярная ЭПС характерна для клеток-производителей углеводов и липидов (например клетки жировой ткани).

7. Митохондрии – крупные органоиды, состоящие из двойного слоя мембран: наружная – гладкая, внутренняя образует многочисленные гребнеобразные складки – *кристы*. Внутри митохондрии заполнены жидкостью (*матрикс*).

Функции митохондрий: основная функция митохондрий – обеспечение клетки энергией. Этот процесс происходит за счет синтеза *аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ)* (рис. 15), в которой фрагмент



представляет собой остаток фосфорной кислоты H_3PO_4

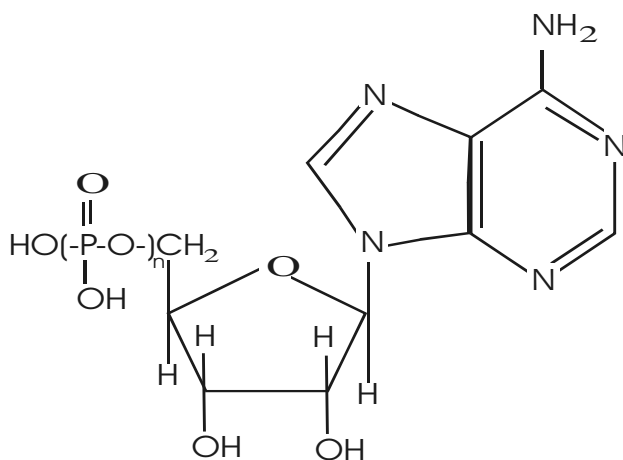
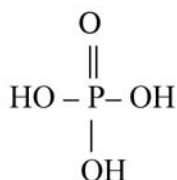


Рис. 15. Структурная формула аденозинфосфорных кислот. Для аденозинтрифосфорной кислоты $n=3$, для аденозиндифосфорной кислоты $n=2$, для аденозинмонофосфорной кислоты $n=1$.

При взаимодействии молекулы аденозинтрифосфорной кислоты с водой отщепляется один остаток фосфорной кислоты, в результате чего образуется

аденозиндифосфорная кислота – АДФ и выделяется огромное количество энергии:



Впоследствии от АДФ может отщепляться еще один остаток фосфорной кислоты, образуя АМФ – аденозинмонофосфорную кислоту.



Освободившаяся энергия используется для жизнедеятельности клетки (КПД процесса превышает 80%!).

Наряду с распадом АТФ и выделением энергии в клетке постоянно происходит синтез АТФ и накопление энергии (обратные реакции).

Количество митохондрий в клетке зависит от потребности последней в энергии. Так, в клетках кожи человека находится в среднем 5-6 митохондрий, в клетках мышц – до 1000, в клетках печени – до 2500!

7. Комплекс Гольджи. Итальянский ученый Гольджи обнаружил и описал структуру клетки, напоминающую стопки мембран, цистерны, пузырьки и трубочки. Расположена эта система чаще всего возле ядра.

Функции комплекса Гольджи: в полостях комплекса накапливаются всевозможные продукты обмена клетки, которые по каким-либо причинам не вывелись наружу. Впоследствии эти продукты могут быть использованы клеткой для процессов жизнедеятельности. Из пузырьков и цистерночек комплекса Гольджи в растительных клетках образуются вакуоли, заполненные клеточным соком.

8. Лизосомы – мелкие органоиды. Представляют собой пузырьки, окруженные мембраной. Внутри лизосомы заполнены пищеварительными ферментами (обнаружено 12 ферментов), которые расщепляют и переваривают крупные макромолекулы (белки, полисахариды, нуклеиновые кислоты).

Функции лизосом: растворение и переваривание макромолекул. Лизосомы участвуют в фагоцитозе. Понятно, что основная функция по перевариванию поступающих в клетку частиц принадлежит лизосомам.

9. Пластиды. Эти органоиды характерны только для растительных клеток. Форма напоминает двояковыпуклую линзу. Структура пластид напоминает таковую у митохондрий: двойной слой мембраны. Наружная – гладкая, внутренняя образу-

³⁸ Интересно отметить, что приведённые процессы нельзя отнести ни к одному из изученных Вами типов реакций: соединения, разложения, замещения, обмена. К окислительно-восстановительным процессам они также не относятся. Взаимодействие АТФ и АДФ с водой можно отнести к реакциям *расщепления*, характеризующимся тем, что одно из реагирующих веществ вступает в реакцию соединения (в данном случае вода), а другое – в реакцию разложения (АТФ и АДФ).

ет складки, называемые *тилакоидами*. На тилакоидах происходит основной жизненно важный для всех зеленых растений процесс – **фотосинтез**. Пластиды бывают трех типов:

1) *Хлоропласты* – зеленые пластиды. Их цвет обусловлен наличием *хлорофилла*. *Хлорофилл* – основное вещество хлоропластов (имеет зеленый цвет). Только благодаря хлорофиллу возможен процесс фотосинтеза (см. раздел 4.2). Хлоропласты придают зеленый цвет растительным организмам.

2) *Хромопласты* – пластиды, имеющие различные окраски: от ярко-желтого до пурпурно-багряного. Наличие различных пигментов окрашивают плоды, цветки и осенние листья растений в соответствующие цвета. Этот факт особенно важен для привлечения насекомых к цветкам, как природный индикатор созревания плодов и др.

3) *Лейкопласты* – бесцветные пластиды, в которых происходит накопление запасных питательных веществ (например, крахмала).

Некоторые виды пластид могут переходить друг в друга: например, переход хлоропластов в хромопласты: созревание томатов, яблок, вишни, и т.д.; изменение окраски листьев в осенний период времени. Лейкопласты могут переходить в хлоропласты: позеленение картофеля на свету. Это доказывает общность происхождения пластид.

10. Клеточные включения. Вакуоли. Это непостоянные и необязательные составляющие клетки. Они могут появляться и исчезать в течение всей жизни клетки. К ним относятся капли жира, зерна крахмала и гликогена, кристаллы щавелево-кислого кальция и др. Жидкие продукты обмена называются *клеточным соком* и накапливаются они в *вакуолях*. В клеточном соке растворены сахара, минеральные соли, пигменты и т.д. Чем старше клетка, тем больше клеточного сока накапливает клетка. Молодые клетки практически не содержат вакуолей.

11. Специальные органоиды клетки. Имеются только у специализированных клеток. К ним относятся *реснички*, *жгутики* – выросты мембраны клетки, осуществляющие движения клетки. Они имеются у одноклеточных организмов и многоклеточных (кишечный эпителий, сперматозоиды, эпителий дыхательных путей).

Миофибриллы – тонкие нити мышечных клеток, участвующие в сокращении мышц.

Нейрофибриллы – характерны для нервных клеток, участвуют в проведении нервных импульсов.

12. Центриоли – две (иногда более) цилиндрические структуры диаметром около 0,1 мкм и длиной 0,3 мкм. Место расположения центриолей в период между делениями клетки считается серединой клеточного центра. При делении клетки центриоли расходятся в противоположные стороны - к полюсам, определяя ориентацию веретена деления (рис.16).

Следует иметь в виду, что, хотя животные и растительные клетки имеют много общего, но между ними существуют и серьёзные различия (табл.1.).

Таблица 1

Отличия растительной клетки от животной

	<i>Признаки</i>	<i>Растительная клетка</i>	<i>Животная клетка</i>
1	Оболочка	Есть	Нет
2	Пластиды	Есть	Нет
3	Клеточные включения	Вакуоли, кристаллы щавелево-кислого кальция, зёрна крахмала	Капли жира, зёрна гликогена
4	Питание	Пиноцитоз. (фагоцитоз невозможен из-за наличия плотной оболочки)	Фагоцитоз, пиноцитоз
5	Органоиды движения	Нет	Реснички, жгутики, ложноножки, миофибриллы, нейрофибриллы.

-
1. Ядро – как основная составляющая клетки. Значение и функции ядра.
 2. К какому типу клеток (гаплоидные или диплоидные) относятся следующие примеры: клетка кожи, спора, клетка кожицы лука, клетка печени, сперматозоид, лейкоцит, пыльца, куриное яйцо?
 3. В чем состоят основные функции мембранных органоидов: ЭПС, аппарата Гольджи, рибосом и лизосом.
 4. Какие существуют виды пластид? Каково их значение для растительной клетки?
 5. Что такое митохондрии? Какие процессы в них происходят? Каково их значение?
 6. В чем состоят различия между животной и растительной клеткой? Проанализируйте: почему они возникли?

3.2.3. Деление клетки

Когда клетка вырастает до определенных конечных размеров, она приступает к делению. В зависимости от механизма этого процесса выделяют три способа деления: amitoz, mitoz и meioz.

Amitoz. Чаще всего этот способ реализуется в прокариотах. Происходит простое перешнуровывание клетки напополам. Перед этим процессом ДНК реплицируется и каждая клетка получает одинаковую ДНК. Некоторые эукариоты также используют этот процесс (клетки хряща, роговицы глаза, печени).

Mitoz. Основной способ деления соматических клеток. Митоз включает 4 фазы: профазу, метафазу, анафазу и телофазу. Период времени между митозами иногда называют интерфазой (рис.16).

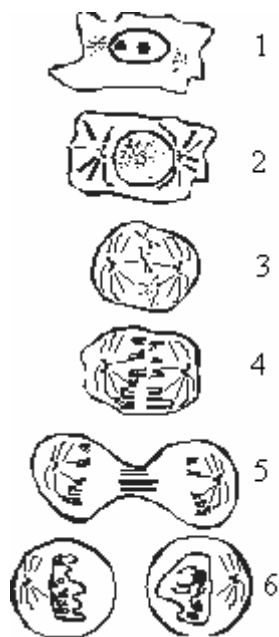


Рис.16. Схема стадий митотического деления клетки:

1 – интерфаза; 2 – профазу; 3 – метафазу; 4 – анафазу; 5 – ранняя телофаза; 6 – поздняя телофаза, начало формирования ядер.

Профаза. Хроматин ядра, удвоивший в период интерфазы количество ДНК, спирализуется в хромосомы, количество которых составляет $4n$ ($2n$ пар). Растворится ядерная мембрана. Центриоли начинают расходиться по полюсам

Метафаза. Центриоли окончательно расходятся по полюсам клетки. Между центриолями возникают нити – образуется *веретено деления*. Удвоенные хромосомы выстраиваются в центре клетки и прикрепляются к нитям веретена деления.

Анафаза. Хромосомы расходятся по нитям веретена к разным полюсам. Хромосомы распределяются равномерно.

Телофаза. Образуются два одинаковых ядра, хромосомы раскручиваются, образуя хроматин новых клеток. Материнская клетка перешнуровывается напополам.

Подобным образом образуются две дочерние одинаковые клетки, которые будут питаться, расти, и, в свою очередь, делиться.

Мейоз. Это процесс образования гаплоидных клеток. Мейоз идет в два этапа: мейоз I и мейоз II. Каждый из этапов делится на 4 фазы (профаза I, метафаза I, анафаза I, телофаза I, профаза II, метафаза II, анафаза II, телофаза II). Удвоение числа хромосом происходит один раз, а деление – дважды.

В профазе I происходит попарно соединение материнских и отцовских хромосом (*конъюгация*) и частичный обмен участками этих хромосом (*кроссинговер*). После кроссинговера измененные хромосомы, содержащие материнские и отцовские гены, расходятся по дочерним клеткам. Вот почему потомки никогда не представляют собой точную копию родителей, а лишь бывают в той или иной мере на них похожи. *Конъюгация и кроссинговер – важнейшие генетические процессы, связанные с изменением наследственных свойств организма.*

В результате мейоза образуются 4 гаплоидные клетки.

3.2.4. Прокариоты и эукариоты

Клетки от дрожжей до человека содержат оформленное ядро. Такие клетки называют **эукариотами**.

Не все клетки имеют четко оформленное ядро. Существуют клетки, у которых вместо четкого ядра 1 нить ДНК (именуется хромосома), в которой хранится вся наследственная информация. К таким организмам относятся бактерии и сине-зеленые водоросли.

Отличия прокариот от эукариот:

1. Все прокариоты не имеют ядерных образований, вся наследственная информация находится в 1 нити ДНК, имеющей форму кольца, у эукариот – четко обособленное *ядро*, хранящее в себе ДНК в виде *хромосом*.

2. У прокариот отсутствуют некоторые органоиды, присущие эукариотической клетки (митохондрии, аппарат Гольджи). Этот факт связан с особенностью жизнедеятельности прокариот: энергию и питание они зачастую получают в готовом виде из внешней среды (например, паразиты – от хозяина).

3. Для жизнедеятельности прокариоты тратят гораздо меньше энергии (см. особенности строения), чем эукариоты.

4. Размеры прокариотической клетки мельче, чем клетки эукариот.

3.3. ВИРУСЫ

Вирусы – неклеточные формы жизни.

Вирусы – неклеточные формы жизни. Описаны впервые в 1892 году русским ученым Д.И. Ивановским (на примере вируса табачной мозаики – ВТМ).

Вирус состоит из 1 молекулы ДНК (или РНК), одетой в белковую оболочку (капсид).

До сих пор вопрос о принадлежности вирусов к живой природе остается дискуссионным. Действительно, многие черты, характерные для живого организма (клеточное строение, питание, дыхание, раздражимость) совершенно отсутствуют у всех групп вирусов. Другие же черты, характерные для живого, (как то: генетический материал (ДНК), способность размножаться, использовать энергию биогенных веществ) четко проявлены. И всё-таки, большинство биологов склоняются к мнению, что вирусы принадлежат живой природе и представлены самостоятельным царством.

Все вирусы (100%) – паразиты, то есть энергию для размножения и жизнедеятельности используют в готовом виде от хозяина. Паразитируют на генетическом уровне.

Известны вирусы: грипп, полиомиелит, гепатит, корь, энцефалит и лайма, СПИД и др. Многие вирусные болезни и в настоящее время неизлечимы.

Схема работы вируса:

1. Вирус попадает в организм и с помощью рецепторов распознает необходимую клетку. Инфекционный процесс специфичен: например, вирус гепатита проникает и размножается в клетках печени, вирус гриппа – в клетках слизистой

оболочки верхних дыхательных путей, вирус энцефалита поражает оболочки головного мозга, ВИЧ – иммунные клетки и т.д.

2. Вирусная частица прикрепляется к клетке и вводит в нее свою ДНК (РНК).

3. ДНК вируса, многократно реплицируясь, порождает все новые и новые частицы, у которых происходит самосборка капсида. Новые вирусные частицы (а их в одной клетке производится несколько тысяч), заражают новые клетки. Этот процесс будет идти либо до тех пор, пока иммунная система не очистит организм от пораженных клеток и, соответственно, от вирусных частиц, либо приведет к гибели организма (ВИЧ).

Наиболее опасным вирусом для организма человека в настоящее время является вирус СПИДа³⁹. Его опасность состоит в следующем: попадая непосредственно в кровь (пути проникновения могут быть различны: чаще – половой путь и через инфицированные предметы), ВИЧ распознает и заражает клетки иммунитета (лейкоциты). Размножаясь и поражая все новые и новые клетки, ВИЧ в целом блокирует процесс иммунитета.

1. Изложите основные принципы деления клетки. Для чего природа создала процессы конъюгации и кроссинговера в мейозе?

3.4. РАЗМНОЖЕНИЕ ОРГАНИЗМОВ

Как уже было упомянуто выше, размножение – одна из основных особенностей живого организма. Существуют два типа размножения: *половое* и *бесполое*.

Бесполое размножение характеризуется тем, что все потомки происходят от одной особи (материнский организм). Такой тип размножения встречается, чаще всего, у растений, но можно его наблюдать у некоторых беспозвоночных животных (в том числе и простейших).

Существует несколько форм бесполого размножения:

1. *Деление* – размножение путём разделения материнского организма на двое. Характерно для бактерий, простейших и одноклеточных водорослей.

³⁹ СПИД – синдром приобретенного иммунодефицита. Болезнь вызывается ВИЧ-инфекцией (ВИЧ – вирус иммунодефицита человека).

2. *Спорообразование.* Грибы, низшие растения и многие бактерии способны образовывать одноклеточные образования, из которых прорастает самостоятельный организм - *споры*.

3. *Почкование.* При такой форме размножения на материнском теле образуется локальное скопление группы клеток в виде бугорка. Впоследствии, из этих клеток формируется дочерняя особь, которая со временем отделяется от материнского организма. Такая форма размножения характерна для кишечнорастворимых и дрожжей.

4. *Размножение фрагментами тела.* Это уникальная форма бесполого размножения, при которой новый организм появляется из частички материнского организма. Характерна для некоторых морских организмов (губки, морские звезды и др.)⁴⁰. Таким же образом можно размножать дождевых червей и лишайники.

5. *Вегетативное размножение.* Характерно для высших растений. Это способ, при котором дочерняя особь образуется из специализированной части тела материнского организма. Примеров вегетативного размножения немало: это может быть размножение от листовой пластинки (фиалки), от части стебля, который именуется черенок (роза), известно размножение «усами» - ползучими стеблями (земляника), или подземными побегами: луковичками (лилия), клубнями (картофель), корневищем (пырей) и т.д.

6. *Клонирование.* Искусственный метод (в природе не встречается!), изобретенный сравнительно недавно. Может применяться практически ко всем живым организмам, существующим на планете. В этом случае хромосомный набор соматической клетки (2n) переносят в яйцеклетку того же организма, лишённую хромосомного материала, и провоцируют ее деление. Таким образом реализуется генетическая программа материнского организма без оплодотворения. Клонирование было успешно проведено в различных лабораториях мира для некоторых видов высших животных – лягушек, овец, коров.

Половое размножение. При этой форме размножения происходит слияние генетического материала двух гаплоидных клеток. Половые гаплоидные клетки именуется *гаметами*. Гаметы образуются в результате мейоза; они служат связующим звеном между данным поколением и последующим. При

⁴⁰ Интересен вариант размножения морской губки: возможно разделить ее тело на множество фрагментов (и даже просеять через сито). Из каждого такого микрофрагмента вырастает отдельная особь.

слиянии гамет образуется *диплоидная зигота* – клетка, объединяющая в себе наборы хромосом двух различных особей.

-
1. Что такое прокариоты и эукариоты? В чем состоит их принципиальное различие? Проанализируйте: почему у прокариот отсутствуют митохондрии?
 2. Что такое вирусы? Почему вирусы объединены в отдельное царство? Какие виды вирусов вы знаете?
 3. Что представляет собой ВИЧ? Почему заболевание ВИЧ всегда имеет летальный исход?
 4. В чем состоит суть полового и бесполого размножения? Приведите примеры бесполого размножения.

3.5. ПОНЯТИЕ О ГЕНЕТИКЕ

Генетика – раздел биологии, изучающий законы наследственности и изменчивости живого организма.

Наука и практика к середине 19 века накопили фактический материал сходства и различия организмов, но научной теории долгое время установить не удавалось. Чешский ученый Грегор Мендель в 1865 году провел ряд опытов по скрещиванию различных сортов гороха, впервые открыл и сформулировал закономерности наследственности. Эти опыты впоследствии легли в основу глобального изучения законов наследования и наследственности признаков от поколения к поколению⁴¹.

Понятийный аппарат генетики.

Признак – это определенная особенность организма (внешняя или внутренняя). Любой организм обладает совокупностью собственных признаков.

Ген – участок молекулы ДНК, определяющий формирование какого либо элементарного признака.

Наследственность – свойство родительской пары передавать свои признаки (гены) поколению.

⁴¹ Независимо друг от друга в 1900 г. Гуго де Фриз (Голландия), К. Корренс (Германия). Э. Чермак (Австрия), переоткрыли законы Г. Менделя и признали его приоритет.

При бесполом размножении гены передаются посредством соматических клеток (от 1 родителя), при половом - гены передаются при слиянии 2 родительских половых клеток.

Изменчивость – свойство живых организмов изменять фенотип под воздействием факторов окружающей среды.

Генотип – совокупность генов организма.

Фенотип – совокупность всех признаков организма.

Если разные гены отвечают за развитие одного признака их называют **аллельными (аллели)**. Если аллельных гена два, то их иногда называют парными.

Фенотип определяется генотипом и изменчивостью.

В качестве примера можно привести формирование фенотипа одуванчика.

Представим, что семена одуванчика, полученные от одного растения (сходный генотип) попадают в разные условия формирования – одно из них в лучшие условия (с идеальными показателями параметров окружающей среды: оптимальной температурой, влажностью, химическим составом почвы и т.д.), а другое – в худшие условия (с засушливым климатом, пониженной температурой, вредным для растения составом почвы и т.д.) Впоследствии, сравнив оба растения, мы увидим явные различия, которые указывают на присутствие воздействия окружающей среды.

Гены, определяющие фенотип, могут быть **доминантными** – это сильные, подавляющие гены. Они определяют развитие фенотипа. И гены могут быть **рецессивными** – слабые, подавляемые гены. Они также находятся в генотипе, но, при наличии доминантной аллели, как правило, в фенотипе проявлены не будут.

Условные обозначения в генетике.

Латинскими буквами обозначаются гены:





- заглавными – доминантные гены (A, B.....W и т.д.)
- строчными – рецессивные гены (a, b.....w и т.д.)
- P_(1,2) – родители
- F_(1,2...n) - потомство, полученное при скрещивании (X)
- g – гаметы (половые клетки родительской пары)
- G – генотип
- Ph – фенотип.

Если аллельные гены, определяющие признак, одинаковые (только доминантные AA, либо только рецессивные aa), то такой организм называют **гомозиготой (чистая линия)**, если разные (Aa) – **гетерозиготой (гибрид)**.

В таблице 2 приведены результаты опытов, проведённых Г. Менделем (левая колонка), объясняемые теорией передачи генетической информации (правая колонка).

Таблица 2

Опыт Г. Менделя по скрещиванию гороха (моногибридное скрещивание).

 <p>опыт 1</p> <p>Скрестили 2 сорта гороха: желтый и зеленый (чистая линия, гомозиготы)</p>	$P_{1,2}: AA \times aa$ $g: A; A \quad \quad a; a$
 <p>результат опыта 1</p> <p>Получили в поколении - все желтые (гетерозигота)</p>	$F_1: Aa$ (гибрид)
 <p>опыт 2</p> <p>Скрестили 2 гетерозиготы</p>	$P_{3,4}: Aa \times Aa$ $g: A; a \quad A; a$
 <p>результат опыта 2</p> <p>Во 2 поколении получили расщепление признаков по фенотипу: $\frac{3}{4} : \frac{1}{4}$</p>	$F_2: AA; Aa; Aa; aa$ $Ph: ж; ж; ж; з$

Данные, приведённые в таблице 2, позволили сформулировать два закона:
 - **первый закон Менделя (закон единообразия гибридов первого поколения): при скрещивании 2 родительских форм, отличающихся друг от друга по одной паре признаков, все потомство будет носить признаки одного из родителей (обусловлено доминантными генами);**

- второй закон Менделя (закон расщепления признаков): при скрещивании двух гетерозиготных особей в поколении наблюдается расщепление признаков 3:1 по фенотипу и 1:2:1 по генотипу.

Такое скрещивание называют **моногибридным**. Если родительская пара отличается друг от друга по 2 парам признаков – **скрещивание дигибридное**, по трем парам – **скрещивание тригибридное** и т.д.

3.5.1. Пример решения задачи по теме раздела 3.5.

Определить все возможные генотипы и фенотипы потомства, полученного при скрещивании желтого и зеленого сортов гороха, а также вероятность получения каждого из них, если известно, что желтоплодное растение – гетерозигота. (Условия остаются прежними: желтый цвет плодов определяется доминантными генами, зеленый – рецессивными).

Решение:

Объект: горох

Признак: цвет плодов

F_1 - ?

A – доминантный ген, определяющий желтый цвет плодов

a – рецессивный ген, определяющий зеленый цвет плодов

$P_{1,2}$: $Aa \times aa$

g : $A, a \mid a, a$

F_1 : Aa, aa

Ответ: возможно потомство с генотипами Aa (желтоплодный фенотип) и aa (зеленоплодный фенотип). Вероятность получения каждого из них составляет 0,5 (50%).

3.5.2. Задачи по теме раздела 3.5 для самостоятельного решения.

1. У кукурузы желтый цвет початков – доминантный признак, белый цвет – рецессивный признак. Определить F_1 при скрещивании желтоплодных гетерозиготного и гомозиготного сортов. Какой процент получения белоплодной кукурузы при скрещивании 2 гетерозиготных растений?

2. Определить G и Ph родительской пары норок, если из 5 родившихся норок 3 – коричневые, 2 – серебристые. Серебристые норки рецессивны.










3. У человека монголоидный разрез глаз – доминантный признак. Возможно ли рождение детей с европейским типом глаз (рецессивный), при браке 2 разных по фенотипу родителей?

3.5.3. Неполное доминирование

Иногда доминантные аллели некоторых организмов могут проявлять себя не в полной мере и испытывать воздействие рецессивных аллелей. В результате гетерозиготное потомство оказывается с фенотипическими признаками обоих родителей. Такие случаи в природе не редки. Классическим примером может служить растение ночная красавица: при скрещивании 2 растений с альтернативными признаками (растение с красными цветками – определено доминантными генами и растение с белыми цветками – носители рецессивных генов) гибридное потомство (Aa) будет иметь цветки розового цвета (табл. 3).

Таблица 3

Опыт скрещивания при условии неполного доминирования

 x  опыт 1 Скрестили 2 растения ночная красавица: с красными и белыми цветками (чистая линия, гомозиготы)	$P_{1,2}: AA \times aa$ $g: A; A \quad a; a$
 результат опыта 1 Получили в поколении - все растения с розовыми (гетерозигота) цветками	$F_1: Aa$ (гибрид)
 x  опыт 2 Скрестили 2 гетерозиготы	$P_{3,4}: Aa \times Aa$ $g: A; a \quad A; a$
    результат опыта 2 Во 2 поколении получили расщепление признаков по фенотипу: $\frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{1}{4}$.	$F_2: AA; Aa; Aa; aa$ $Ph: k, p, p, b$

3.5.3.1. Задача по теме раздела 3.5.3. для самостоятельного решения.

У растения ночная красавица красный цвет цветков доминирует над белым. Определить % появления цветков розового цвета (гетерозигота) при скрещивании:

- а) белоцветковых и красноцветковых растений
- б) белоцветковых и розовоцветковых растений
- в) 2 розовоцветковых растений.










Возможно ли сохранение в поколении розовой окраски цветков ночной красавицы?

3.5.4. Дигибридное скрещивание.

Рассмотрим вариант, когда родители отличаются между собой не по 1, а по 2 парам альтернативных признаков. Такой опыт был проведен Г. Менделем с горохом, семена которого отличались друг от друга не только цветом, но и формой. Понятно, что гены, определяющие округлую форму и желтый цвет – доминантные, гены, определяющие зеленый цвет и морщинистую форму – рецессивные (табл.4).

Таблица 4

Опыт Г. Менделя по скрещиванию гороха. Дигибридное скрещивание.

 x  опыт 1 Скрестили 2 сорта гороха: желтый и зеленый (чистая линия, гомозиготы)	$P_{1,2}: AABB \times aabb$ $g: AB; AB \quad ab; ab$
 результат опыта 1 Получили в поколении - все желтые (гетерозигота)	$F_1: AaBb$ (гибрид)
 x  опыт 2 Скрестили 2 гетерозиготы	$P_{3,4}: AaBb \times AaBb$ $g: AB, Ab, aB, ab; AB, Ab, aB, ab$
    результат опыта 2 Во 2 поколении получили расщепление признаков по фенотипу: 9:3:3:1.	см. таблицу Пеннета на с. 166

Для того, чтобы просмотреть различные возможные варианты встречи гамет, воспользуемся так называемой решеткой (таблицей) Пеннета (табл.5):

Таблица 5

Решетка (таблица) Пеннета

$P_2 \backslash P_1$	AB	Ab	aB	ab
AB	AABB	AABb	AaBB	AaBb
Ab	AABb	AAbb	AaBb	Aabb
aB	AaBB	AaBb	aaBB	aaBb
Ab	AaBb	Aabb	aaBb	aabb

Сопоставляя различные варианты встречи гамет, получаем возможные генотипы и фенотипы в F_2 .

В данном случае, в F_2 получили расщепление признаков по фенотипу: 9:3:3:1.

Если проанализировать опыт, то соотношение расщепления по форме окажется 3:1, соотношение признаков по цвету – также 3:1. Отсюда был сформулирован *III закон Менделя («Закон независимого наследования»): При скрещивании особей, отличающихся друг от друга по 2 и более парам альтернативных признаков, гены и соответствующие признаки наследуются независимо друг от друга.*

3.5.5. Задачи по теме раздела 3.5.4. для самостоятельного решения

1. У томатов круглая форма и красный цвет плодов доминируют над овальной формой и желтым цветом плодов. Определить возможные G и Ph при скрещивании:

- красноплодных круглых и желтоплодных круглых (гомозиготы) сортов
- желтоплодного круглого и красноплодного круглого (гетерозиготы) сортов.

2. Черные прямые волосы человека – доминантные признаки, волнистые светлые волосы – рецессивные признаки. Определить возможные фенотипы потомства при браке: отец: русоволосый, волосы прямые. Мать: черноволосая, волосы вьющиеся. Рассмотреть все возможные варианты гомозиготы и гетерозиготы по доминантной аллели.

3. Возможно ли получить в потомстве (а если возможно, то какой % рождения) белых пушистых хомячков при скрещивании 2 золотистых гладкошерстных хомячков, если гладкошерстность и золотистый цвет – доминантные признаки?

3.5.6. Взаимодействие генов

Определенные признаки могут развиваться и под влиянием нескольких генов. Бывают следующие формы взаимодействия неаллельных генов: **комплементарность, эпистаз и полимерия.**

Комплементарное действие генов. При взаимодействии неаллельных доминантных генов может возникать новый признак: например при скрещивании двух рас душистого гороха с белыми цветками возникло потомство, имеющее цветки пурпурного цвета:

$P_{1,2} : AAbb \quad \times \quad aaBB$

$F_1 : AaBb$ – пурпурные цветки.

Получилось так, что сочетание генов АВ дало способность F вырабатывать специфический фермент пурпурной окраски.

Эпистаз. Один неаллельный доминантный ген может подавлять другой такой же при встрече в одном генотипе: например ген А подавляет действие гена В (А «сильнее» В).

Полимерия. Несколько доминантных генов, накапливаясь в генотипе, могут усиливать проявление данного признака (например, ген негроидной окраски кожи человека: чем больше накапливается доминантных генов, определяющих темный цвет кожи, тем более темнокожим будет человек).

Таким образом, изучение наследования и взаимодействия генов показывает сложность механизма работы генотипа. Получается, что генотип – система действующих друг на друга генов, определяющая бесчисленное многообразие признаков объектов живой природы.

3.5.7. Сцепленное наследование.

У любого организма множество различных признаков, однако, количество генов невелико. Следовательно, в 1 хромосоме находится несколько генов. О том, как наследуются признаки, локализованные в одной хромосоме, говорит закон американского генетика Томаса Моргана: *гены, находящиеся в одной*

хромосоме, наследуются совместно. Такие гены называют **группой сцепления**.

В качестве примера можно рассмотреть наследование монголоидного разреза глаз и такого признака как черные прямые волосы: группа сцепления – доминантные гены, находящиеся в одной хромосоме.

Таким образом, третий закон Менделя срабатывает только в том случае, когда гены, определяющие конкретный признак, находятся в разных (негомологических) хромосомах.

3.5.7.1. Сцепленное с полом наследование.

Вспомним, что клетки человека содержат 23 пары хромосом, из которых 22 – одинаковы по качеству как у мужчин, так и женщин. 23-я пара XX – женские половые хромосомы, XY – мужские половые хромосомы. Если аллели, определяющие тот или иной признак локализованы в половых хромосомах, то речь идет о наследовании, сцепленном с полом. В половой X-хромосоме человека существуют гены, определяющие некоторые признаки, например, некоторые болезни. Дальтонизм – болезнь нарушения цветовосприятия; судорожные расстройства организма; болезнь, связанная с несвертываемостью крови – гемофилия и др.

Проследим передачу такого признака как гемофилия (болезнь несвертываемости крови) H – доминантный ген, определяющий нормальную свертываемость крови. h – ген, определяющий развитие болезни гемофилия. (Y-хромосома не гомологична X-хромосоме, поэтому такого гена в ней нет):

Рассмотрим вариант, когда в браке женщина-носительница гемофилии (болезнь не проявляет себя из-за доминантного гена нормальной свертываемости) и здоровый мужчина.

$$\begin{array}{l}
 P_{1,2}: X_H X_h \quad \quad \quad x \quad \quad X_H Y \\
 g: \quad \quad \quad X_H, X_h \quad \quad \quad X_H, Y \\
 F_1: \quad \quad \quad X_H X_H, X_H X_h, X_H Y, X_h Y
 \end{array}$$

Из опыта видно, что в потомстве (где, кстати, вероятность рождения особей мужского пола и женского равны) вероятность рождения абсолютно здоровых детей 50%, ¼ потомков будут носителями гена гемофилии (женского пола) и ¼ (мальчики) вероятность рождения больного гемофилией.

У кошек, например, в половых хромосомах локализованы гены, определяющие характер окраски шерсти. При этом самки кошек могут иметь так называемый «черепаховый окрас»: пятнистое сочетание белого, рыжего и черного цветов.

3.5.7.2. Задачи по теме раздела 3.5.7.1. для самостоятельного решения

1. Возможно ли получение «черепахового» окраса самцов кошки?

2. Определить потомство при скрещивании домашней кошки:

- 1) рыжей и черной
- 2) рыжей и черепаховой
- 3) черной и черепаховой

если ген, определяющий черную окраску кошек – доминантный, а ген, определяющий рыжую окраску кошек – рецессивный.

Идеи и методы генетики находят применение во всех областях деятельности человека, связанной с живыми организмами. Они имеют важное значения для решения проблем медицины, сельского хозяйства, микробиологии, промышленности. Новейшие достижения в генетике связаны с развитием *генной инженерии*⁴².

3.5.8. Закономерности изменчивости

Изменчивость – это способность организма изменять свои внешние и внутренние признаки под влиянием внешней среды. Изменчивость, возникающая в отдельном организме и не передающаяся по наследству, называется модификационной. Изменчивость, возникающая в генотипе и передающаяся следующим поколениям называется генотипической или наследственной.

Модификационная изменчивость определяется воздействием факторов окружающей среды на организм. Модификации носят приспособительных характер. Уникальная способность живых организмов приспосабливаться позволила выжить многим видам растений и животных при изменениях условий окружающей среды, произошедших из-за миграции, изменения климата, или техногенных воздействий.

⁴² Генная инженерия – раздел биологии, изучающий свойства генотипов организмов и возможные пути перестройки генома, с целью создания новых качеств организмов, отвечающих заданным свойствам.

Генотипическая (наследственная) изменчивость связана с изменениями в генотипе, что, неизбежно проявляется и в фенотипических признаках.

Генотипическая изменчивость обеспечивает возможность эволюции⁴³ живых существ и, в свою очередь, складывается из *комбинативной* и *мутационной* изменчивостей.

Комбинативная изменчивость является результатом случайного сочетания генов отца и матери при половом размножении и приводит к формированию нового уникального генотипа и фенотипа.

Мутационная изменчивость является результатом мутаций. *Мутации* – это редкие, случайно возникшие, стойкие изменения генотипа, затрагивающие весь геном, либо отдельные хромосомы, их части или отдельные гены. Они могут быть вредны, нейтральны и полезны для организма. Вещества или воздействия, приводящие к мутациям называются *мутагенами* (Химические реактивы, радиация, температурные колебания).

-
1. Что такое генетика? Что она изучает? Дайте ее основные определения.
 2. О чем гласят I и II Законы Менделя? Приведите примеры опытов и объясните их с точки зрения Законов Менделя.
 3. В чем состоит принципиальное различие между полным и неполным доминированием генов?
 4. Сколько генотипов и сколько фенотипов может образоваться при скрещивании двух гетерозигот? двух гомозигот? гетерозиготы и гомозиготы? Рассмотрите этот вопрос для моногибридного, дигибридного и тригибридного скрещивания.
 5. Существуют ли отступления от Законов Менделя? В следствие чего они возникают? Расскажите о взаимодействии генов и возникающих в связи с этим частных явлениях.
 6. Что такое сцепленное наследование и наследование сцепленное с полом? Какие признаки могут передаваться сцеплено?
 7. Что такое изменчивость? В каких случаях она возникает? Приведите примеры различных типов изменчивости.

⁴³ Эволюция в биологии – это необратимое историческое развитие живой природы, сопровождающееся образованием и вымиранием видов.

3.5.9. Селекция. Биотехнология. Генная инженерия.

Селекция – наука о создании новых и улучшении существующих сортов растений и пород животных. Она возникла на основе практической деятельности человека в области сельского хозяйства. Существующие ныне культурные растения и домашние животные – результат одомашнивания их диких предков человеком. Культуры выводятся с определенной целью получить необходимое хозяйственное качество, важное для человека.

Самым древнейшим методом селекции следует считать *бессознательный отбор*. Человек, желая культивировать растения или размножить животных в качестве семенного материала выберет наиболее плодовитых и жизнеспособных особей, с наиболее важными для него хозяйственными качествами (например, среди яйценосных кур он для размножения отберет самых плодовитых здоровых родителей; при выборе растения для получения от него семян он выберет самое крупное растение, с обильным урожаем и т.д.).

Попытки выведения новых пород животных и сортов растений предпринимались еще в древности. В Египте и Месопотамии задолго до новой эры выводили мулов путем искусственного скрещивания осла и лошади, переопыляли финиковую пальму и получали первые гибриды, которые давали большие урожаи по сравнению с их дикими предками.

Селекция приобрела статус науки в 19 веке. Предпосылки этому послужили работы Ч.Дарвина о движущих силах эволюции.

Глубокий анализ мировых растительных ресурсов в свое время был проведен советским генетиком Н.И. Вавиловым. Многочисленные экспедиции дали основания определить центры происхождения многих культурных растений. Вавилов установил 8 таких центров:

Индийский – родина риса, сахарного тростника, цитрусовых;

Среднеазиатский – родина мягкой пшеницы, гороха, бобовых;

Китайский – родина хлебных злаков, проса, гречихи, сои;

Переднеазиатский – родина пшеницы, ржи, многих видов фруктовых деревьев;

Средиземноморский – родоначальник многих овощей;

Абиссинский (Африка) – родина твердых пшениц, ячменя, кофе;

Южноамериканский – дает начало расселению кукурузы, хлопчатника, какао;

Южнокитайский – дал миру картофель и табак.

В этих центрах сосредоточено наибольшее количество сортов, разновидностей, мутаций. Трудами экспедиций Н.И. Вавилова была собрана коллек-

ция, насчитывающая несколько сотен тысяч мировой коллекции растений, что послужило прекрасной базой для выведения новых сортов.

Новые породы домашних животных также выводились с древнейших времен от диких предков. Человек вывел многочисленные виды животных из небольшого числа их предков:

Волки и шакалы – родоначальники собак;

Европейский тур – дал начало крупному рогатому скоту;

Европейский муфлон – предок овец;

Дикий кабан – предок свиней;

Дикая лошадь – предок современных пород лошадей

Индийский петух – родоначальник современных пород кур;

От дикой утки произошли все существующие домашние виды уток и т.д.

В настоящее время селекция животных проводится по тем же принципам, что и селекция растений.

Большой вклад в селекцию растений внес выдающийся селекционер И.В. Мичурин. В своих работах он использовал три основных форм воздействия на растительные организмы: *гибридизацию, воспитание гибрида и отбор*.

Гибридизация – метод скрещивания двух сортов растений, с целью получения *гибрида*, обладающего ценными хозяйственными качествами обоих родителей. Естественно, что в природных условиях возникновение гибрида невозможно (разные виды в природе не скрещиваются между собой), поэтому приходилось преодолевать нескрещиваемость различными методами (например, опыление рыльца пестика смесью пыльцы). И.В. Мичурин скрещивал подобным образом уссурийскую дикую грушу (мелкие плоды, но зимостойкая) и южный сорт (плоды крупные, сочные, но растение теплолюбивое). У гибрида появились нужные селекционеру качества: полученный сорт Бере зимняя выдерживает температуру атмосферы до – 36 градусов С, давая в осенний период времени хороший урожай крупных плодов. Кроме скрещивания близкородственных форм И.В. Мичурин применял метод *отдаленной гибридизации* – т.е. скрещивание разных видов и родов растений. Таким образом были получены церападусы (гибриды вишни и черемухи), тернослива (гибрид сливы и терновника) и др. интересные разновидности гибридов.

При *воспитании* гибридов растительных культур И.В. Мичурин адаптировал молодые саженцы растений к изменениям условий окружающей среды (например воспитание теплолюбивых растений к условиям низких температур). Чаще всего в воспитании использовался метод *прививки*: сеянец воспитуемого

растения прививался к растению-ментору (ментор – растение-воспитатель заданных качеств). Таким образом удалось получить некоторые сорта южных растений, адаптированных к условиям северных регионов.

Отбор – это древнейший метод, который применялся человеком бессознательно и давал хорошие результаты. И.В.Мичурин применял этот метод к семенам гибридов (отбирались семена самые крупные и правильной формы) от самых жизнеспособных и плодовых растений.

Таким образом, применяя методы гибридизации, воспитания и отбора, Мичурин вывел сотни новых сортов растений, приспособленных к различным климатическим зонам и обладающих поразительной урожайностью, устойчивостью к заболеваниям и высокими вкусовыми качествами плодов.

Методы гибридизации, воспитания и отбора существуют также и в селекции животных. Пример соблюдения этих принципов в селекции животных – работы М.Ф. Иванова по выведению и адаптации новых пород свиней. Применение искусственного осеменения при отдаленной гибридизации позволили получить сильных и выносливых мулов (гибрид кобылицы и осла), архаромериносов (гибрид тонкорунных овец и горных архаров), гибридов яка и крупного рогатого скота, гибридов кур, обладающих поразительной яйценоскостью и т.д., а воспитание способности противостоять местным неблагоприятным факторам окружающей среды дало возможность расселять таких гибридов повсеместно.

Современные методы селекции.

Открытия генетики и молекулярной биологии широко применяются для получения новых форм растений, животных, микроорганизмов. В настоящее время применяют 4 основных метода: *метод гетерозиса, метод полиплоидии, мутагенез, генная инженерия.*

1. Метод гетерозиса

Гетерозис – усиление жизнеспособности за счет скрещивания разных пород животных (или разных сортов растений). В первом поколении гибридов наблюдается мощное развитие. Оно объясняется взаимодействием благоприятных доминантных генов.

Подобным образом получено множество сортов растений, обладающих рядом ценных свойств.

Метод гетерозиса широко применяется и в селекции животных. Межпородное скрещивание приводит к резкому подъему продуктивности гибридов.

2. Полиплоидия

Это кратное увеличение гаплоидного набора хромосом. На клетки растений, подготовленные к делению, воздействуют специальными веществами. Клетки перестают делиться, однако число хромосом в них увеличивается вдвое, вчетверо и т.д. Такие крупные клетки дают начало полиплоидным растениям: тетраплоиды (4n), гексаплоиды (6n) и т.д. В результате были получены полиплоидные яблони, груши, гречиха, рожь, пшеница, томат и многие другие сорта, приносящие удивительно крупные плоды. Урожайность с одного растения-полиплоида во много раз превышала урожайность его дикого предка.

Метод полиплоидии используется только в селекции растений.

3. Мутагенез

Это метод воздействия на клетки растений различными мутагенами: химические вещества, облучение радиацией и т.д. Эти воздействия изменяют структуру ДНК, и, соответственно, свойства организма. Вредные изменения выбраковываются, а полезные закрепляются и используются в селекции.

В селекции микроорганизмов в основе своей применяют метод мутагенеза. Мутагены изменяют структуру ДНК прокариот, появляются мутантные бактерии с новым характером белков, а значит и признаков. Селекционеры с помощью химических мутагенов, рентгеновских и коротковолновых ультрафиолетовых лучей получают новые мутантные штаммы, которые широко используются в **биотехнологии** (см.) на службе человеку.

Применение химии и ионизирующей радиации привело к формированию новых отраслей – радиационной и химической селекции.

Биотехнология – использование живых организмов и биохимических процессов в производстве.

С древних времен человек использовал микроорганизмы в таких видах производств, как: хлебопечение, пивоварение, сыроварение, виноделие и др.

В настоящее время, помимо пищевой промышленности, достижения биотехнологии с успехом применяются в сельском хозяйстве – как экологически безопасное средство борьбы с вредителями выращиваемых культур, сорняками, болезнями растений. Разработаны промышленные методы получения аминокислот и белков, используемые в качестве кормовых добавок в животноводстве. Кроме того, специфические штаммы⁴⁴ используются для очистки сточных вод: благодаря особому виду бактерий полностью очищаются сточные воды город-

⁴⁴ Штамм – чистая культура микроорганизмов одного вида.

ских канализаций. Возможна очистка вод и от синтетических небиodeградирующих (неразлагающихся)⁴⁵ отходов за счет специальных искусственных штаммов микроорганизмов, полученных в результате мутагенеза.

В медицине благодаря биотехнологии получены многие разновидности антибиотиков (производятся бактериями и грибами), гормонов, ферментов и других биоактивных веществ. Получение вакцин и антител позволяют предупредить и излечить многие опасные заболевания.

Развитие биотехнологии и клеточной инженерии позволяют получать ранее недоступные препараты, как например: инсулин, гормон роста человека, интерферон и др. Широкое распространение получили так называемые *гибридомы* (гибридные клетки) и продуцируемые ими антитела, используемые в качестве уникальных реагентов. Их применение позволяет получать новые данные о функционировании генетического аппарата клеток.

Селекция, биотехнология и геновая инженерия – науки, которые в современном мире продолжают активно развиваться, постоянно создавая новые открытия и достижения во благо человечеству.

-
1. Что такое селекция и что она изучает?
 2. Приведите примеры центров возникновения современных культурных сортов растений и пород животных.
 3. Какими методами селекции (сознательными и бессознательными) пользовались люди в прошлые времена?
 4. Какие методы селекции используются в современное время?
 5. Какие методы селекции являются новейшими? Какие методы, на ваш взгляд, являются наиболее перспективными в селекции будущего?
 6. Что такое биотехнология и геновая инженерия? Какие вещества получают при помощи достижений этих наук?

3.6. РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ОБ ЭВОЛЮЦИИ.

Следует подчеркнуть, что до настоящего времени единой общепризнанной теории эволюции, исчерпывающе объясняющей последовательность этапов развития живой природы и происхождения человека, нет. Поэтому, приведён-

⁴⁵ См. курс экологии.

ный ниже материал является лишь кратким обзором представлений об эволюции, которые, сменяя друг друга, являлись господствующими в определённые исторические периоды.

Еще античные философы выдвигали идеи об изменчивости окружающего мира и живых организмов в нем: Лукреций, Демокрит, Гераклит и др. умозрительно делали заключения о влиянии природных условий на расселение растений и животных.

После длительного застоя науки, царившего в средневековье, естествознание стало бурно развиваться и со временем возникла потребность обобщить накопленный разрозненный материал в единую систему научных знаний. Шведский ботаник Карл Линней в своей работе «Система природы» (начало 18 века) предложил систематизацию растительного и животного мира. Впоследствии французский ученый Жорж Кювье подробно описал приспособления животных к природным условиям. Однако, эти учёные, неизмеримо обогатив науку знаниями о разнообразии современной им живой природы, сделали существенный шаг назад по сравнению с античными философами. Они отрицали изменчивость видов, а, значит и процессы эволюции. Во многом, благодаря трудам К. Линнея и Ж. Кювье в 18 веке господствовало мнение, что на первозданную картину мира могут повлиять только катастрофы и катаклизмы и ничто другое не может её изменить.

Первую *теорию* естественного развития выдвинул в начале 19 века французский натуралист Жан-Батист Ламарк в книге «Философия зоологии». Ламарк систематизировал виды, предложив градацию от простого к сложному («лестница существ»). Этот ряд начинается простейшими и заканчивается наиболее совершенными формами жизни. Он полагал, что усложнение форм происходило за счет изменений условий жизни. Именно Ламарк впервые выдвинул гипотезу происхождения человека от обезьян на основании близости строения тела обезьян и человека. Ввёл термин «Биология». Заслуга Ламарка состоит в попытке объяснить современную природу как результат длительного исторического развития. При этом он основной причиной развития считал стремление организмов к совершенствованию.

Английский натуралист Чарльз Дарвин (середина 19 века) проведя обширные геологические, зоологические и ботанические исследования, пришёл, как и Ламарк, к выводу о несостоятельности теории постоянства видов. Однако, причиной развития Ч. Дарвин считал не стремление организмов к совершенствованию, а *естественный отбор*, осуществляемый в борьбе за существование.

По мнению Ч. Дарвина выживает и даёт потомство только тот организм, который наиболее приспособлен к данным условиям среды⁴⁶ и конкурентной борьбе с другими организмами за источники питания, благоприятное место обитания, возможность продолжения рода.

Таким образом, *естественный отбор это процесс сохранения и размножения особей, наиболее приспособленных к окружающей среде*⁴⁷.

Для того чтобы выжить и оставить потомство все организмы ведут борьбу за существование. Дарвин выделил 3 формы борьбы: межвидовая, внутривидовая и борьба с условиями окружающей среды.

Межвидовая борьба заключается в различных видах конкуренции за право существования между разными видами, внутривидовая – за право существования внутри одного вида. Однако, большая часть живых организмов погибает в борьбе с условиями окружающей среды (например, огромное количество растений и животных погибает при заморозках или засухе).

Таким образом, Ч.Дарвин представлял историю возникновения новых видов как длительный процесс накопления полезных (целесообразных) изменений признаков в борьбе за выживание. Согласно его представлениям, эти полезные изменения накапливались, закреплялись в генотипе и передавались из поколения в поколение. В процессе эволюции из одного первоначального признака возникали несколько новых. Такой процесс получил название *дивергенции*. *Дивергенция* – расхождение признаков, возникшее в результате эволюции. Из измененных признаков, в свою очередь, возникал другой ряд измененных признаков и т.д. Так, шаг за шагом, возникали всё большие различия между разными признаками, перерастающие в конечном итоге, в различия между видами, родами, семействами и т.д. Человек, как вид, согласно этому учению, произошёл от обезьян, которые, приспособиваясь к окружающей среде, развили свой интеллект, научились прямо ходить, разговаривать, изготавливать орудия труда.

Представления Дарвина оставались господствующими на протяжении всего 20 столетия. Однако, последние достижения науки выявляют всё большие недостатки его теории.

Прежде всего, это чрезвычайно низкая вероятность *целесообразной* генотипической изменчивости. Действительно, согласно современным представ-

⁴⁶ Например, на Аляске, где очень сильные ветры, приспособились к обитанию и размножились воробьи с укороченными крыльями, у особей с обыкновенными крыльями был больший риск сломать крылья во время полета и погибнуть.

⁴⁷ Подразумевается, что другие особи являются частью окружающей среды.

лениям, изменения фенотипа, накапливаемые особью в течение жизни, благодаря модификационной изменчивости, (например, мозолистые ладони от постоянного ручного труда) не приводят к изменениям генотипа, закрепляющего эти изменения в потомстве. Комбинативная изменчивость также не может обеспечить эволюционный процесс, поскольку обусловлена лишь комбинацией родительских генотипов и не может стать источником принципиально новых признаков. Остаётся только мутационная изменчивость, которая представляет собой случайные изменения генотипа под воздействием мутагенов. При этом, количество *возможных* мутаций оказывается практически бесконечным. А вероятность целесообразной (полезной) мутации равна приблизительно вероятности набора текста «Войны и мира» обезьяной, случайно ударяющей по клавишам клавиатуры.

Кроме того, всё большее количество археологических находок свидетельствует о том, что немало живых организмов, являющихся предшественниками организмов современных, были лучше приспособлены к окружающей среде нежели их далёкие потомки. Например, древнейшая вымершая птица подкласса ящерохвостых – археоптерикс имела на крыльях цепкие лапки, дававшие ей значительно большую возможность в ловле добычи и удерживании на деревьях, по сравнению с современными птицами (рис. 17).

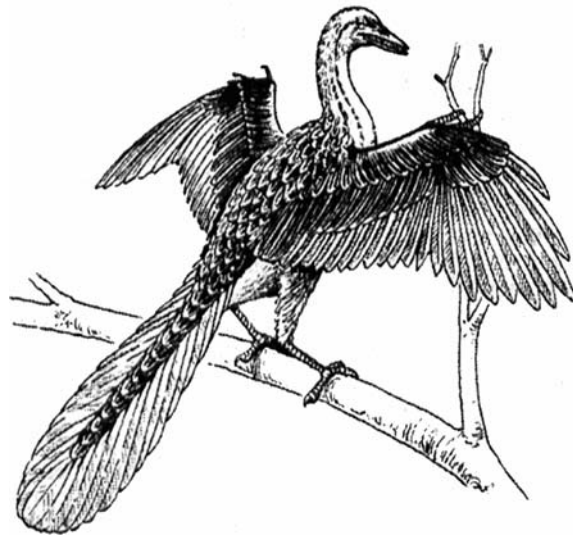


Рис. 17. Археоптерикс. Птица, размером с сороку, жившая в юрском периоде ($\approx 185 - 130$ млн. лет назад).

Антропогенезис – процесс исторического развития человека как вида, также не имеет на сегодняшний день единого толкования. Результаты сопоставления генотипов человека и обезьян однозначно свидетельствуют о нашем близком родстве с этими животными. Но не все учёные считают это убедительным доказательством происхождения человека от обезьяны, полагая, что эволюция могла иметь и противоположное направление от человека к обезьяне. При этом фенотип людей, являющихся общими предками для нас и обезьян, существенно отличался от фенотипа современного человека и был близок к ископаемым обезьянам. Таким образом, наряду с Дарвиновскими представлениями, существует точка зрения, согласно которой, биологическая эволюция человека представляла собой не происхождение от обезьяны, но самостоятельный процесс, результатом которого стал его современный облик. То есть, человек никогда не был животным.

Считается, что к настоящему времени биологическая эволюция человека закончилась, сменившись эволюцией социальной.⁴⁸ То есть, процессы изменения человеческого фенотипа сменились процессами изменения человеческого сообщества, изменениями структуры человеческих взаимоотношений.

Смена эволюции фенотипа человека на эволюцию социальную является *общепризнанным* научным фактом.

Подводя итог, можно сказать, что загадки происхождения человека и всего живого на земле ещё только ждут искателя, который найдёт их окончательное решение. Вполне возможно, что таким искателем окажетесь именно Вы.

-
- 1.Что такое эволюция? Как развивались представления об эволюции в додарвиновский период?**
 - 2.В чем состоят основные принципы дарвиновского учения об эволюции?**
 - 3.Какие вы знаете современные гипотезы эволюции?**

⁴⁸ Под социальной эволюцией подразумевается изменение отношений между людьми в обществе.

4. ЭКОЛОГИЯ

(Повторите определение экологии, приведённое во введении)

Впервые понятие экологии было введено в 19 веке немецким зоологом, эволюционистом Эрнстом Геккелем, который считал, что экология это *«...изучение всей совокупности взаимоотношений животного с окружающей его средой, как органической, так и неорганической...»*.

Люди с древних времен наблюдали природу, давали описания растениям и животным различных климатических зон. Их интересовала жизнь в природных условиях, то, как представители флоры и фауны реагируют на различные изменения климата, изменения природных циклов.

Самые древние описания подобных явлений дошли до наших дней в книге натуралиста Аристотеля (4 век до н.э.) «Жизнь животных».

Эволюционисты 18-19 вв К.Линней, Ч. Дарвин, Ж.-Б. Ламарк, К. Рулье наблюдали приспособительные изменения организмов под воздействием различных факторов окружающей среды.

Важнейшие наблюдения и открытия в экологии сделали путешественники 19 века: С.П. Крашенинников, И.И. Лепёхин, академик П.С. Паллас. Эти учёные в опубликованных дневниках дают описания природы и природных сообществ разных частей планеты.

Накопление фактического материала в познании природы способствовало развитию биологических наук, в том числе и экологии.

Сформировавшись как наука, экология сегодня играет все возрастающую роль в решении практических задач. Появилась возможность предсказывать последствия хозяйственной деятельности человека и давать рекомендации, как вести промысел, развивать сельское хозяйство и промышленность, не истощая ресурсы среды и не разрушая природные сообщества.

В современном понимании экология – разветвленная система наук. Она объединяет все естественные науки. Появляются принципиально новые направления экологии: социальная экология, биохимическая экология, физиологическая экология, радиоэкология и др. Кроме того, в настоящее время выделяют теоретическую экологию, вскрывающую общие законы существования природы и живых организмов, и прикладную экологию, которая призвана помочь применить эти законы в хозяйственной практике людей.

1. Что такое экология? Что она изучает?

2. Какова роль экологических знаний в современном мире?

4.1. ФАКТОРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.

На любой живой организм беспрестанно воздействуют различные факторы живой и неживой природы (вода, ветер, растения и животные, солнце, люди и т.д.). Все эти составляющие принято называть *факторами окружающей среды*. Факторы окружающей среды формируют организм, воздействуют на его рост и развитие, питание, размножение и т.д., т.е. являются непременным условием существования живого.

Любой живой организм испытывает на себе воздействие очень многих факторов окружающей его среды обитания (температуры, влажности, атмосферного давления и т.д.). Некоторые из этих факторов особенно важны для жизни. Такие факторы называются *лимитирующими*. Отсутствие хотя бы одного жизненно важного (лимитирующего) фактора приводит к гибели организма (или популяции в целом) (рис.1). Недостаток (или избыток) какого либо лимитирующего фактора (например, пониженная или повышенная температура) подавляет жизнедеятельность организмов (рис.1). Оптимальное сочетание и количество лимитирующих факторов приводит к максимальной выживаемости организмов, формирует наиболее благоприятные условия для жизнедеятельности организмов.

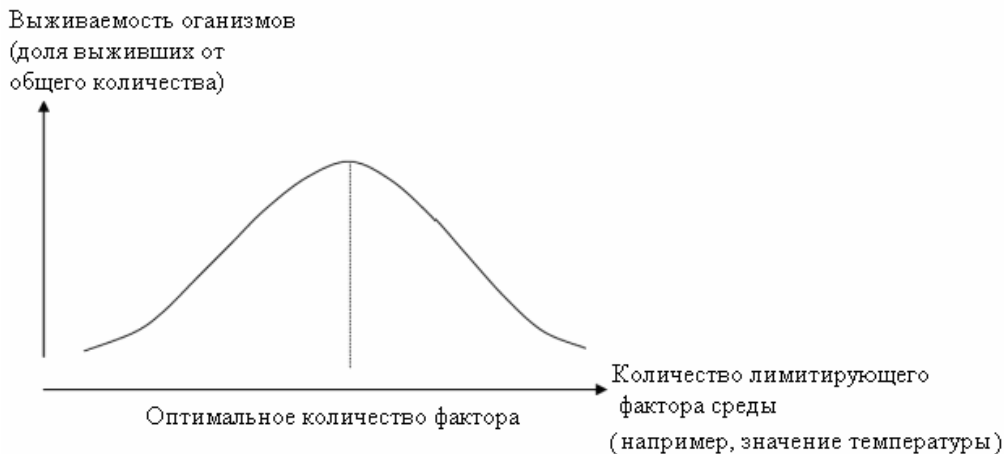


Рис.1. Зависимость выживаемости организмов от условий окружающей среды.

В зависимости от количества того или иного лимитирующего фактора, либо создаются идеальные условия существования организмов, либо условия, подавляющие их жизнедеятельность.

Для каждого биологического вида существуют свои пределы выживаемости в различных средах обитания, свой оптимум лимитирующего фактора: организм может быть очень требовательным к параметрам среды и небольшое отклонение от норм приводит к подавлению жизнедеятельности или гибели организма. Такие организмы называются *стенобионтами*.

Широко приспособленные организмы именуются *эврибионтами*.

Способность вида осваивать разные среды обитания характеризуются величиной *экологической пластичности (валентности)*: эврибионты имеют большую пластичность, нежели стенобионты, но для большинства видов экологический оптимум ограничен (рис.2).

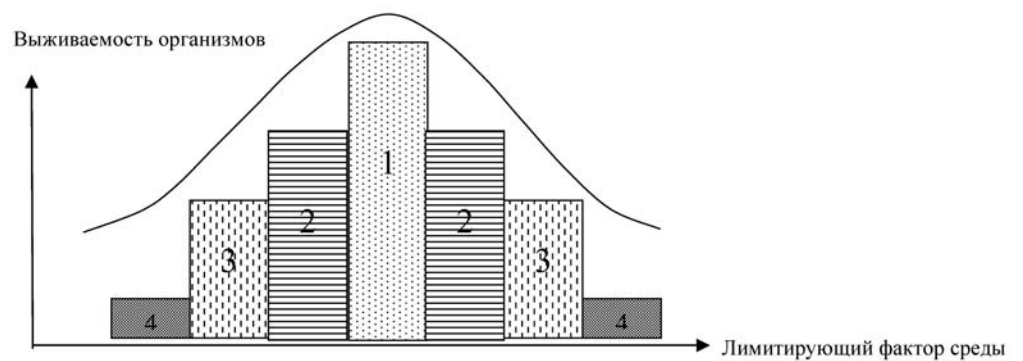


Рис. 2. Зоны выживаемости организмов

Зона I – «Зона оптимума». Оптимальное количество лимитирующего фактора приводит к максимально благоприятным условиям существования организма.

Зона II – «Зона нормы». Количество лимитирующего фактора больше (или меньше) оптимального количества, но вполне достаточно для нормального существования организма.

Зона III – «Зона пессимума». Количество лимитирующего фактора находится в большом избытке (либо в большом недостатке). Организмы могут существовать, но будут находиться в пессимальном (подавленном) состоянии.

Зона IV - «Зона смерти». Количество лимитирующего фактора намного превышает (намного меньше, либо отсутствует вовсе) условия существования организма, поэтому жизнь в этой зоне невозможна.

В качестве примера можно привести кактусы (стенобионты) и, как лимитирующий фактор, температуру окружающей среды. С повышением (или понижением) температуры от нормы (+30 градусов C) кактусы замедляют рост, размножение и, при определенных температурных условиях, вовсе погибают).

Все факторы окружающей среды принято делить на **абиотические, биотические и антропогенные**.

Антропогенными факторами среды называются факторы активной деятельности человека на природу. Воздействие на природу может быть *прямым* (вырубка лесов и посадка аллей, выбросы заводов и фабрик и очистка территорий от загрязнений, осушение болот и создание искусственных водоемов и т.д.) и *косвенным* (разрушение местообитаний лесных животных, вследствие, например, создания агрокомплексов, либо расселение нового (не свойственного данной территории) вида растений, вследствие насаждения искусственного леса и т.д.). Антропогенное воздействие человека на природные системы во многих случаях оказывается чреватом для естественных процессов экосистем. Человек на протяжении веков стремился не только приспособиться к природной среде, но и сделать ее удобной для своего существования. Теперь мы осознаем, что любая деятельность человека оказывает определенное воздействие на окружающую среду. В настоящее время хозяйственная деятельность человека все чаще становится источником загрязнения биосферы, а ухудшение состояния биосферы опасно для всех живых существ, в том числе и для самого человека

Абиотические факторы окружающей среды – это факторы неживой природы (свет, температура, влажность, рельеф и т.д.), которые прямо или косвенно воздействуют на организмы.

В основе своей это климатические условия существования живого организма.

Совокупность этих условий на определенных участках планеты называют **экотоп**.

Биотические факторы окружающей среды - это взаимодействия живых организмов друг на друга, а также на неживую компоненту природы (таблица 1).

Таблица 1

Различные типы биотических взаимоотношений в природных сообществах.

<i>Тип взаимоотношений</i>	<i>Биотические взаимоотношения</i>	
0 0	Нейтрализм	- - отрицательное влияние
0 -	Аменсализм	+ - положительное влияние
0 +	Комменсализм	0 - нейтральное влияние
- -	Конкуренция	
- +	Паразитизм (или хищничество)	
+ +	Симбиоз	

Нейтрализм - организмы, сосуществуя, не оказывают друг на друга никакого воздействия.

Аменсализм – форма сосуществования, при которой одни организмы будут подавляться сосуществованием других организмов, а те, в свою очередь, не будут получать от этого ни пользы, ни вреда. (Например, растениям, произрастающим под пологом темнохвойного леса, не будет хватать света. Недостаток лимитирующего фактора создаст пессимальные условия существования растениям (-), но хвойные деревья не испытывают при этом положительного или отрицательного воздействия от растений (0)).

Комменсализм – форма сосуществования организмов, при которой один организм получает пользу от другого, не принося ему ни пользы, ни вреда. (Например, птицы-трупоеды питаются остатками трапезы хищных животных (+), тем не менее хищники от этого не получают ни пользу, ни вред (0)).

Конкуренция⁴⁹ – борьба особей за оптимальные экологические условия существования. При этой форме биотических отношений организмы испытывают отрицательное воздействие друг от друга. Например: борьба за пищевые ресурсы, борьба самцов за самку, борьба за территорию и др.

Симбиотические отношения – сосуществование организмов на взаимовыгодных условиях.

⁴⁹ Слово «конкуренция» обозначает соперничество, соревнование. Е.А. Криксунов и др. «Экология». «Дрофа», 1995.

Паразитизм, хищничество. При этой форме биотических отношений один организм угнетается (истребляется) другим, и существование его зависит от этого организма.

Такая форма биотических отношений лежит в основе пищевых (трофических) цепей.

4.2. ПОНЯТИЕ О ПИЩЕВЫХ ЦЕПЯХ

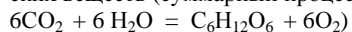
Существуют две формы живых организмов по типу питания: *автотрофы* и *гетеротрофы*. *Автотрофы* – организмы, способные получать самостоятельное питание за счет воды, углекислого газа, энергии солнца, энергии химических реакций. К таким организмам относятся растения и некоторые виды бактерий, способные к *фотосинтезу*⁵⁰ (либо к *хемосинтезу*⁵¹). *Гетеротрофы* – организмы, питающиеся готовыми органическими веществами (животные, микроорганизмы).

Автотрофы и гетеротрофы в средах обитания образуют пищевые (трофические) цепи. *Трофические цепи* – последовательность пищевых звеньев. Цепь питания – цепь взаимосвязанных видов, последовательно извлекающих органическое вещество и энергию из исходного пищевого вещества. Каждое предыдущее звено цепи питания является пищей для следующего звена. Названия и условные обозначения отдельных звеньев цепи питания приведены на рис. 3



Рис. 3. Названия и условные обозначения отдельных звеньев цепи питания

⁵⁰ Фотосинтез – процесс превращения лучистой энергии в энергию химических связей органических веществ (суммарный процесс фотосинтеза выражается уравнением:



⁵¹ Хемосинтез – процесс образования организмами органических веществ за счет энергии химических реакций.

Продуценты – организмы, получающие питание за счет автотрофного питания (автотрофы)

Консументы – организмы, потребляющие готовые органические вещества (гетеротрофы)

- консументы I порядка (К I)- используют в пищу продуцентов – растения. В основном это травоядные животные;

- консументы II порядка (К II) – используют в пищу консументов I порядка (хищники);

- консументы III порядка (К III) (встречаются довольно редко) – поедают хищников.

Редуценты (деструкторы) – гетеротрофные организмы, превращающие органические вещества мертвых организмов (*детрит*) в набор неорганических веществ (CO_2 , H_2O , H_2S и др.)⁵².

Цепь замыкается использованием этих неорганических веществ продуцентами для своей жизнедеятельности (рис. 4).

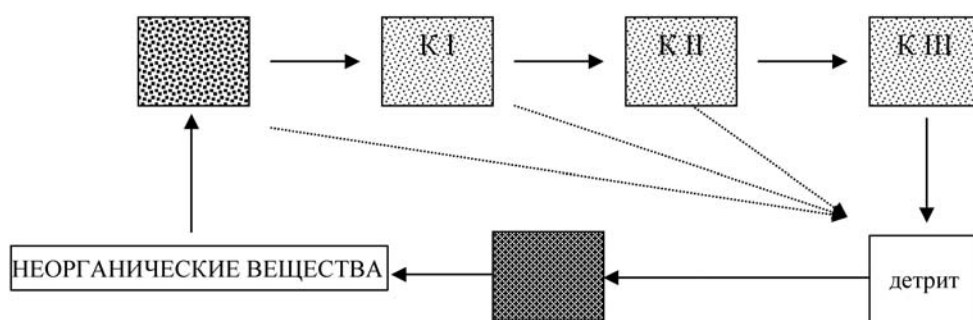


Рис. 4. Схема простейшей цепи питания

Наглядные примеры консументов и продуцента приведены на рис.5:

⁵² Типичными редуцентами являются бактерии и грибы. Редуценты - заключительное звено в пищевой цепи.

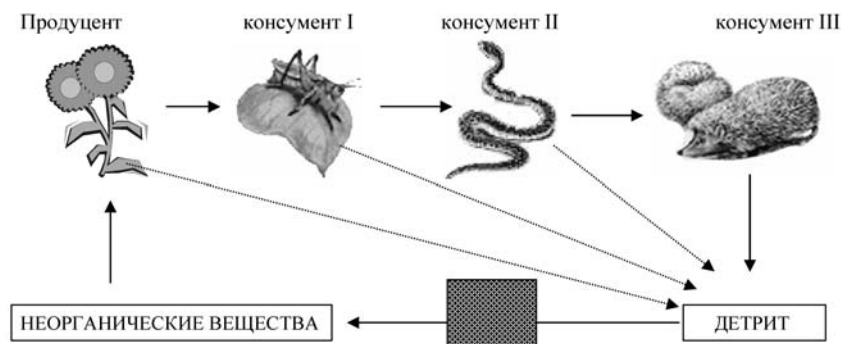


Рис. 5. Иллюстрация схемы цепи питания

Что такое лимитирующий фактор? Каково его значение?

2. Дайте определение экологической пластичности. Выстройте ряд приведенных ниже организмов по убыванию степени экологической пластичности: крапива, верблюд, лошадь, человек, слон, кактус, пингвин. Какие из этих организмов стенобионты, а какие – эврибионты?

3. Что представляют собой «зоны выживаемости»? Будут ли отличаться между собой графики зон выживаемости для эврибионтов и для стенобионтов?

Объясните свой ответ.

4. Что такое факторы окружающей среды? Какие бывают факторы окружающей среды? Приведите примеры.

5. Используя схему (рис.4) составьте пищевую цепь. Объясните ее значение.

4.3. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

Живые организмы, населяя определенные территории, образуют *популяции*. *Популяции* – это совокупность растений или животных одного вида, обитающих на общей территории и обладающих общим генофондом. Популяции, взаимодействуя друг с другом (см. *биотические взаимоотношения*), образуют *сообщества (биоценоз)*.

Биоценоз – совокупность живых организмов, населяющий определенный участок планеты. (Например, биоценоз пустыни: саксаулы, солянки, тушканчики, насекомые-пескожилы, вараны и т.д. – т.е. те растения и жи-

вотные, которые населяют определенную территорию с конкретными параметрами среды).

Каждое сообщество занимает определенную территорию, которая характеризуется набором абиотических факторов (*экотон*) и объектами живой природы (*биоценоз*).

Экотон + Биоценоз = Биогеоценоз.

Биогеоценоз – расположенный на определенной территории природный комплекс организмов и неорганических компонентов среды, объединенный обменом веществ и энергией.⁵³

Таким образом, живые организмы тесно связаны с абиотической компонентой (неживая природа), образуя биогеоценоз, и лишение какой-либо части биогеоценоза приводит к нарушению нормального цикла процессов, либо к разрушению всего биогеоценоза.

Биогеоценозы – составные части *экосистем*. В экосистемах существует несколько сотен (тысяч) популяции. Однотипные сочетания абиотических факторов (рельеф, климат, освещенность и т.д.) с течением эволюции сложили определенную флору и фауну обширных территорий планеты. *Примеры экосистем: таежный лес, леса Амазонии, пустыня Сахара, озеро Байкал, Атлантический океан и т.д.* В этих системах непрерывно идут активные процессы круговорота веществ и энергии и основную роль в этих процессах несомненно принадлежит живым организмам.

Экосистемы – составные части *биосферы*. **БИОСФЕРА** – часть оболочек земного шара, населенная живыми организмами. В.И. Вернадский разработал учение о биосфере как глобальной системе Земли, в которой основной ход геохимических и энергетических процессов определяется живым веществом. В основе этих процессов лежат круговороты веществ и энергии. В.И. Вернадский определил биосферу как *термодинамическую оболочку с температурой от +50 до -50 градусов С и давлением около 1 атм, определяющую условия жизни для организмов*. Все живые организмы образуют *биомассу* планеты и составляют около 0,01% массы земной коры.

Главная функция биосферы – обеспечение круговорота химических элементов, который осуществляется при участии всех населяющих планету организмов. Все химические вещества осуществляют круговорот в природе между

⁵³ С.И. Розанов. «Общая экология». Санкт-Петербург, 2001.
188

атмосферой, литосферой, гидросферой и живыми существами. Наиболее легкие, химически активные элементы, называемые биогенные (углерод, кислород, азот, водород, фосфор и сера), вовлекаются в *биогеохимические циклы*, равновесие которых обеспечивает существование жизни на Земле. Механизмы биогеохимического цикла идут с использованием энергии солнца. *Продуценты* (автотрофы) создают органические вещества из неорганических, используя энергию солнца, которые, пройдя по цепи питания, разрушаются деструкторами с тем, чтобы эти продукты были использованы для новых органических синтезов⁵⁴.

Границы биосферы определяются областью распространения организмов в атмосфере, гидросфере и литосфере. Верхняя граница проходит на высоте 15-20 км от поверхности Земли в стратосфере. Нижняя – по литосфере на глубине 2-3 км, где еще обнаруживаются некоторые бактерии в нефтеносных слоях. Гидросфера имеет глубину до 10 км (впадины в Тихом океане). В разных частях биосферы плотность жизни неодинакова: наибольшее количество организмов находится у поверхности гидросферы и литосферы (Вернадский назвал это явление «*пленки жизни*»). Содержание биомассы изменяется также по зонам: максимальную плотность имеют тропические леса, незначительную – льды Арктики, высокогорные области.

Ежегодная продукция живого вещества в биосфере составляет примерно 200 млрд. тонн сухого органического вещества. За это же время в процессе фотосинтеза на планете образуется 46 млрд. тонн органического углерода, 123 млрд. тонн кислорода. Все эти элементы в последствии вновь включаются в круговорот веществ.

Вмешательство человека в естественные процессы биосферы приводят к их глобальным сдвигам. Масштабы этих вмешательств становятся угрожающими. Осознание угрозы возникновения глобального кризиса во взаимоотношении человека с природой привели к тому, что угрожающий кризис стал называться *экологическим*. Проблема экологического кризиса требует исследований всех сторон воздействия антропогенных факторов на живые организмы и биосферу в целом.

⁵⁴ Биологический круговорот веществ - единство двух процессов:
- аккумуляции элементов в живых организмах; и
- минерализации в результате разложения мертвых организмов.
Образование живого вещества преобладает на поверхности суши и в верхних слоях морей.
Минерализация живого вещества преобладает в почве и глубинах морей.

В 1927 году французские ученые Леруа и де Шарден ввели понятие *ноосфера* – сфера разума. Они рассматривали ноосферу как некую «надбиосферную» оболочку Земли, область материального проявления деятельности разума человека. В.И. Вернадский развил представление о ноосфере как таком состоянии биосферы, в котором проходящие в ней процессы будут не только осмысливаться, но и управляться разумом. Признаками перехода биосферы в ноосферу следует считать осознание проблем глобальной экологии и принятие практических мер по их решению.

Проблемы, которые можно отнести к категории глобальных, относятся к существованию человечества и всего земного шара в целом. К таким проблемам относятся, прежде всего, проблемы загрязнения воды, воздуха и почв. Знание законов развития и существования биосферы дает возможность прогнозирования возможных изменений течения ее процессов и их последствия.

4.4. Экологические (трофические) пирамиды.

Экологические пирамиды – это графические изображения соотношений между продуцентами, консументами и редуцентами, величины которых могут выражаться:

- единицами массы (пирамида биомасс),
- количеством особей (пирамида чисел Элтона) или
- энергией, заключенной в особях (пирамида энергий) (рис.6).

В биосфере постоянно идут процессы обмена веществом и энергией между атмосферой, биосферой и литосферой. Энергия солнечного света преобразуется в энергию химических связей в молекулах органических веществ растений (продуцентов) в процессе фотосинтеза. *Это первый уровень трофической пирамиды – уровень организмов-продуцентов.* Часть прироста органического вещества используется в пищу травоядными животными (консументами), которые составляют *уровень консументов 1-го порядка.* Хищники, питающиеся травоядными и «суперхищники» составляют соответственно *уровень консументов 2-го порядка и уровень консументов 3-го порядка.*

Таким образом, живые организмы биосферы образуют трофическую пирамиду: энергия, накопленная в растительной биомассе, используется в качестве источника энергии и «строительного» материала для создания биомассы потребителей 1-го порядка и далее по пищевой цепи.

Биомасса, производимая популяцией или сообществом на единице площади за единицу времени называется биологической продуктивностью⁵⁵.

Продуктивность каждого последующего трофического уровня составляет не более 5-20% от предыдущего. В целом, если суммарная биомасса всех организмов, обитающих на суше составляет примерно 3.000.000.000.000 тонн, то на зообиомассу приходится лишь $\approx 30.000.000.000 - 90.000.000.000$ тонн, а масса живого вещества людей на планете составляет около 600.000.000 тонн.



Рис. 6. Схема экологической (трофической) пирамиды, не включающая редуценты.

Помимо сказанного, трофические пирамиды обозначают направление *потока вещества* в биосфере. Поток вещества это перемещение веществ от продуцентов к редуцентам.

4.5. Роль человека в биосфере.

Влияние человека на природу началось еще в доисторическую эпоху. Но наиболее глубоким и действенным вмешательство в естественные процессы природы начались во времена освоения и широкого использования человеком механической, электрической и атомной энергии. Техногенная деятельность че-

⁵⁵ Биологическая продуктивность в узком смысле - увеличение ресурсов экономически ценных организмов на единице площади за единицу времени.

ловека изменяет строение земной коры, усиливает биогенную миграцию атомов. Человек создает новые формы растений и животных, увеличивает их продуктивность, акклиматизирует в новых местах обитания. Однако, наряду с пользой вмешательство в природу нередко приносит ей вред. Производственная деятельность людей приводит к нарушению законов природы, возникших за длительный процесс эволюции. В результате таких действий уничтожаются леса, уменьшается количество диких животных, биосфера отравляется отходами производств – радиоактивными, токсическими и другими ядовитыми химическими веществами. Вся эта деятельность приводит к возникновению *глобальных экологических проблем*, о которых пойдет речь в следующем разделе.

-
1. Какова организация природных систем?
 2. Что такое биосфера? Каковы ее основные свойства и функции?
 3. Для чего, по вашему мнению, введено понятие «ноосфера»? Возможно ли человеку поддерживать эту оболочку в настоящее время? Объясните ответ.
 4. Расскажите о трофических пирамидах и ее уровнях. Проанализируйте: почему первый уровень, как правило, самый многочисленный, а последний – сведен к минимуму?
 5. Какова роль человека в биосфере? Приведите положительные и отрицательные примеры воздействия человека на биосферу.

4.6. ГЛОБАЛЬНЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.

На планете, пожалуй, невозможно найти места, где бы не обнаруживались загрязняющие вещества (загрязнения)

Загрязнения – физические, химические, или биологические агенты, превышение естественной концентрации которых, приводит к нарушению (или разрушению) здоровья живых организмов.

Загрязнения могут быть со временем утилизированы природой (разлагаются, потребляются деструкторами). Такие загрязнения не представляют большой опасности для природных экосистем, они называются *биodeградирующими*.

Наибольшую опасность представляют собой *небиodeградирующие* загрязнения – такие загрязнения длительное время пребывают в экосистемах,

приводя к нарушению (или даже к разрушению) природных систем. К таким видам загрязнений можно отнести стекло, полиэтилен, пластмассы и др.). Загрязнения могут быть природного и антропогенного происхождения.

Процесс загрязнения биосферы можно разделить на этапы:

Распространение загрязнения – включение загрязнений в биомассу – накопление загрязнений в тканях организмов (биоаккумуляция).

1. Распространение загрязнения.

Загрязнения поступают в биосферу, главным образом, при работе промышленных предприятий и двигателей внутреннего сгорания (см. табл.2)⁵⁶

Таблица 2.

Основные источники загрязнений биосферы.

<i>Слой биосферы</i>	<i>Основные источники загрязнений</i>
Атмосфера	Промышленность Транспорт Тепловые электростанции
Гидросфера	Сточные воды Утечки нефти Автотранспорт
Литосфера	Отходы промышленности и сельского хозяйства Избыточное использование удобрений.

2. Включение загрязнения в биомассу. Выбросы загрязнений в атмосферу (или сбросы в водоемы) распространяются во все слои биосферы и активно включаются во все пищевые цепи.

3. Накопление загрязнений в тканях организма (биоаккумуляция).

Биоаккумуляция - многократное увеличение концентрации вредных веществ на каждой следующей ступени экологической пирамиды, связанное с тем, что некоторые загрязняющие агенты, потребляемые с пищей, выводятся из организма медленнее, чем поглощаются и поэтому, со временем, всё бо-

⁵⁶ Основные источники загрязнений антропогенного происхождения: тепловые электростанции (27 %), предприятия черной (24 %) и цветной (10,5 %) металлургии, нефтехимической промышленности (15,5 %), строительных материалов (8,1 %), химической промышленности (1,3 %), автотранспорта (13,3 %).

лее и более концентрируются в нём. А некоторые (в частности, ртуть) не выводятся вообще. Таким образом, каждый последующий консумент пищевой цепи потребляет пищу со всё более и более аккумулярованным количеством вредных веществ, концентрация которых увеличивается в телах организмов каждого последующего трофического уровня экологической пирамиды. Например, при небольшой радиоактивности воды радиоактивность планктона повышается в 2.000 раз, рыб – в 20.000, ласточек, которые питаются летающими над водой насекомыми, - в 500000 раз, т.е. каждое последующее звено в цепи питания накапливает все больше и больше загрязнения (рис.7).

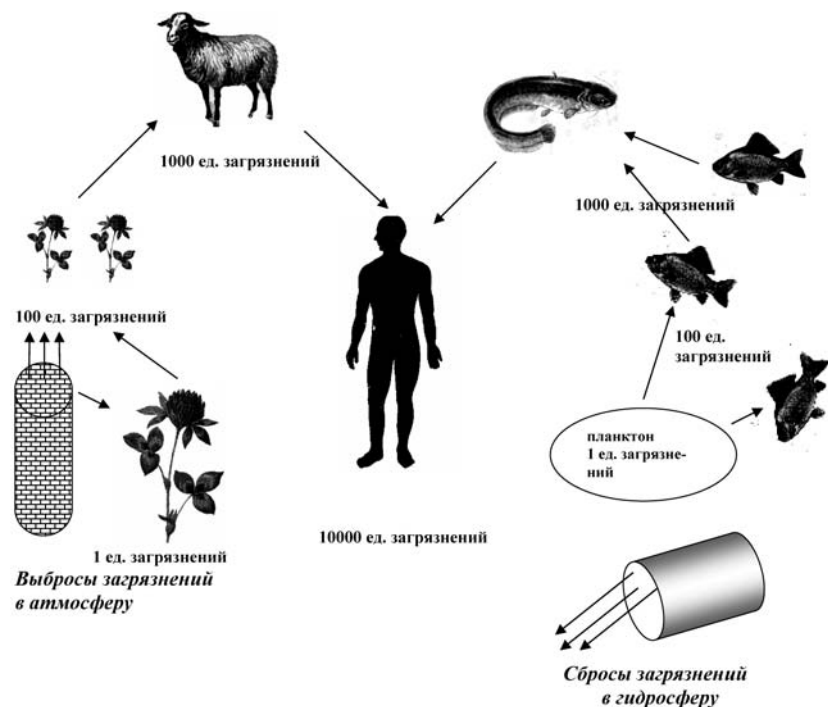


Рис. 7. Схема биоаккумуляции загрязняющих веществ в живом организме. Накопление и передача биоаккумулирующих загрязнений по цепи питания. Единица (ед.) загрязнений принята условно.

Накопленные в живом организме вещества-загрязнители могут вызывать синдром хронического отравления: нарушение нормального поведения, быстрое утомление, постоянное чувство усталости, бессонница, апатия и др. При хроническом отравлении одни и те же вещества у разных людей могут вызывать поражения почек, кровяных органов, нервной системы, печени.

Основные типы загрязнения:

I Физическое

II Химическое

III Биологическое

4.6.1. Химические загрязнения окружающей среды

К химическим загрязнениям относятся:

- тяжелые металлы;
- ядохимикаты и пестициды;
- ПАВ;
- оксиды углерода, азота, серы и др.;
- галогены и их производные;
- углеводороды и их производные
- канцерогены и многие другие вещества.

Ядохимикаты и пестициды – это средства, применяемые в полеводстве и сельском хозяйстве для борьбы с заболеваниями растений, насекомыми-вредителями, грызунами, сорными растениями. Многие из них являются высокотоксичными для гораздо более широкого круга организмов, чем грибы или насекомые. Чем устойчивее и токсичнее пестициды, тем серьезнее их негативное воздействие на живую природу и человека. Многие виды ядохимикатов очень опасны для человека, они являются основными мутагенами в сельском хозяйстве и занимают второе место после отходов промышленности, опережая бытовую химию, медицину и транспорт, поставляют людям 21% всех химических мутагенов. Специальными исследованиями показано, что пестициды вызывают многочисленные нарушения деятельности нервной системы, системы пищеварения и др. По данным Всемирной организации здравоохранения, ежегодно пестицидами отравляются более 500 тысяч человек, из них около 5 тысяч – со смертельным исходом.

Применение ядохимикатов и пестицидов на первых порах дает вполне ощутимую прибавку урожая, но все виды вредителей через несколько поколений дают формы, устойчивые к применению ядов. Следовательно, увеличивают дозу ядохимикатов, либо производят их замену на новые химические вещества (результат их применения – аналогичен, они также со временем вызовут привыкание к ним вредителей).

Пестициды, включаясь в круговорот веществ биосферы, распространяются практически во всех средах, и хотя их концентрация максимальна в зонах непосредственного применения. На нашей планете уже нет места, абсолютно свободного от присутствия хотя бы в ничтожных количествах этих ядов. Все это приводит к тому, что сельское хозяйство стало одним из наиболее опасных для здоровья видов деятельности.

Проблема перевода на биологические средства защиты растений и повышения плодородия почв – одна из самых важных (например, распространение хищников определенных вредителей на поврежденных полях). Такие методы ориентируются не на полное уничтожение вредителей, а на удержание их численности на уровне минимального вреда.

Тяжелые металлы – еще одна категория весьма опасных загрязнителей природных вод и почв. Большинство соединений таких элементов, как свинец, ртуть, кадмий, хром и др. уже в небольших концентрациях становятся токсичными.

Антропогенные источники опасного повышения концентрации тяжелых металлов в водах и почве – стоки промышленных предприятий и продукты сгорания топлива автомобилей. 50-100 метровая полоса земли по обеим сторонам автомагистрали становится отравленной, на такой земле нельзя возделывать пищевые растения, пасти скот, заготавливать сено.

Многие тяжелые металлы легко образуют комплексные соединения с органическими кислотами, накапливаются в почве и затем в телах растений (см. раздел «Кумуляция»). Таким образом, тяжелые металлы легко вовлекаются в пищевые цепи и оказывают весьма токсическое воздействие на живые организмы.

В настоящее время основными загрязнителями признаны: ртуть (Hg), свинец (Pb), кадмий (Cd), мышьяк (As), медь (Cu), ванадий (V), олово (Sn), цинк (Zn), сурьма (Sb), молибден (Mo), кобальт (Co), никель (Ni), хром (Cr), марганец (Mn). Особо опасны органические и летучие соединения ртути, селена (Se), теллура (Te), мышьяка, свинца, палладия (Pd), образующиеся в выхлопных газах автомобилей. Ниже приведены источники некоторых из приведенных загрязнителей:

- никель, ванадий, ртуть преобладают в выбросах энергетических установок;
- хром, марганец, свинец присутствуют в выбросах многих машиностроительных производств;

– свинец, кроме того, характерен для состава воздуха, загрязненного выхлопными газами автомобилей (результат использования этилированного бензина⁵⁷);

– цинк и медь встречаются в окружающей среде любого промышленного города.

Основным резервуаром, где откладываются тяжелые металлы, является почва. Почва накапливает многолетние поступления тяжелых металлов, попадающие в нее из атмосферы в составе газообразных выделений, дымов и техногенной пыли; в виде отходов промышленности, сточных вод, бытового мусора, минеральных удобрений, поэтому немаловажным источником повышенных микроэлементных поступлений в организм человека и животных является пища, выращенная на загрязненных почвах.

Токсичные металлы, попавшие в организм, распределяются в нем неравномерно. Первый удар принимают на себя основные органы выделения (печень, почки, легкие, кожа). В частности, попав в печень, они могут претерпевать различные изменения, даже с благоприятным для организма исходом, что способствуют их обезвреживанию и выведению через почки и кишечник. Если эти механизмы уже не срабатывают, то происходит накопление тяжелых металлов в организме человека. До 90 % общего содержания ртути в организме скапливается в почках. У людей, связанных с ртутью профессионально, обнаружены ее повышенное содержание в веществе головного мозга, печени, щитовидной железе и гипофизе. Свинец накапливается в костях, его концентрация здесь может в десятки и сотни раз превышать концентрацию в других органах. Кадмий откладывается в почках, печени, костях; медь - в печени. Мышьяк и ванадий накапливаются в волосах и ногтях. Олово - в тканях кишечника; цинк - в поджелудочной железе. Сурьма близка по своим свойствам мышьяку и оказывает на организм сходное действие. Кроме токсического действия тяжелые металлы обладают канцерогенным действием.

В конечном итоге тяжелые металлы понижают общую сопротивляемость организма, его защитно-приспособительные возможности, ослабляют иммунную систему, нарушают биохимический баланс в организме.

Оксид углерода (CO₂). Концентрация CO₂ в атмосфере неуклонно растет из-за того, что в качестве источника энергии стали широко применяться различные виды ископаемого топлива (уголь и нефть). Кроме того, как результат человеческой деятельности в атмосферу попадают и другие газы, например метан, закись азота и целый ряд хлоросодержащих веществ. В результате сжига-

⁵⁷ Имеется в виду бензин с добавлением тетраэтилсвинца Pb(C₂H₅)₄ в качестве антидетонатора.

ния различных видов топлива в атмосферу ежегодно выбрасывается около 20 миллиардов тонн углекислого газа. Углекислый газ поступает в атмосферу также в результате деятельности живых организмов (дыхание), естественных процессов неживой природы (вулканы, лесные пожары и т.д.), но антропогенные выбросы углекислого и прочих газов в атмосферу во много раз превышают естественные и составляют несравнимо большую долю. Эти газы, накапливаясь в верхних слоях атмосферы, затрудняют тепловой обмен между космосом и Землей.

Земля вырабатывает огромное количество тепла за счет биохимических процессов биосферы, химических процессов, происходящих в недрах Земли, за счет поступления солнечной энергии. Слой газов пропускает солнечные лучи, но препятствуют прохождению в космическое пространство теплового излучения с поверхности Земли. Температура атмосферы заметно повышается. Это явление получило название «*парниковый эффект*»

"*Парниковый эффект*" - постепенное потепление климата на планете в результате накопления в атмосфере углекислого и других газов, которые подобно покрытию теплицы, пропускают из космоса высокоэнергетические видимые солнечные лучи, но препятствуют удалению отражённого низкоэнергетического инфракрасного (теплового) излучения с поверхности Земли⁵⁸ (схема образования «парникового эффекта» представлена на рис. 8).

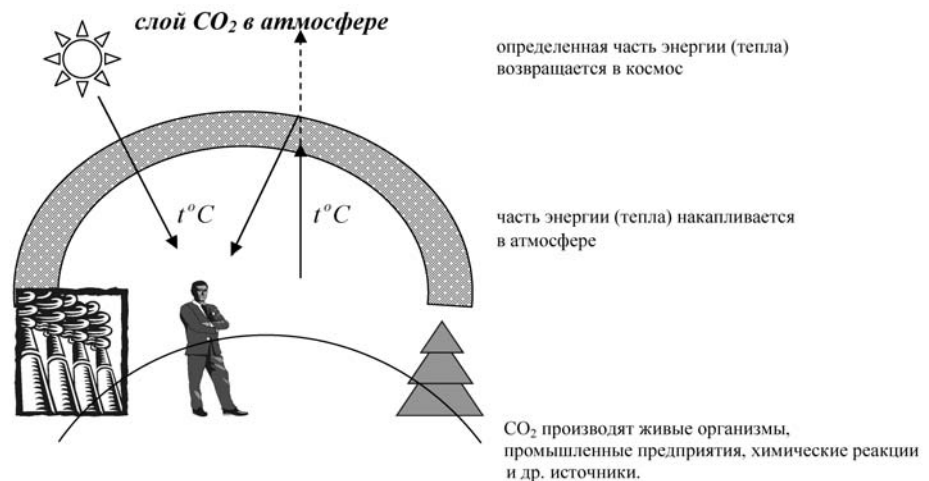


Рис. 8 Схема образования «парникового эффекта»

⁵⁸ Фотон при отражении от предмета может отдавать ему часть своей энергии, в результате чего частота колебаний фотона уменьшается: $E = h \nu$ (см. раздел 1.4)

Еще в 1827 году французский физик Жозеф Фурье предположил, что атмосфера земли выполняет функцию своего рода стекла в теплице: воздух пропускает солнечное тепло, не давая ему при этом испариться обратно в космос. И он был прав. Этот эффект достигается благодаря некоторым атмосферным газам второстепенного значения, каковыми являются, например, водяные испарения и углекислый газ. Они пропускают видимый свет, излучаемый солнцем, но поглощают инфракрасное излучение, имеющее более низкую частоту. Если бы этого не происходило, Земля была бы примерно на 30 градусов холоднее, чем сейчас, и жизнь бы на ней практически замерла.

«Парниковый эффект» влечет за собой процесс **глобального потепления климата**. По мнению многих ученых, если сохранится тенденция глобального потепления, это приведет к изменению погоды и увеличению количества осадков, что, в свою очередь, приведет к подъему уровня мирового океана. Ученые уже отметили изменения в картине выпадения осадков. Они подсчитали, что в США и бывшем СССР последние 30-40 лет выпадает осадков на 10 процентов больше, чем в прошлом. В то же время, количество осадков над экватором сократилось на те же десять процентов. Дальнейшее изменение в системе выпадения осадков окажет огромное воздействие на сельское хозяйство, смещая зоны возделывания культур в северные районы Северной Америки и Евразии. Кроме того, повышение температуры увеличит испарение влаги с поверхности океана. Это приведет к увеличению выпадения осадков на 11 %. Последствия потепления климата будут ощущаться на Северном и Южном полюсах, где увеличившаяся температура приведет к подтаиванию ледников. По расчетам ученых увеличение температуры на 10 градусов С, вызовет повышение уровня мирового океана на 5-6 метров, что приведет к затоплению многих прибрежных территорий во всем мире. Миллионы беженцев будут вынуждены покидать обжитые места и мигрировать вглубь суши. Как одно из следствий таяния ледников – лишение огромной доли запаса пресной воды, за счет которого существуют огромные территории планеты, испытывающие недостаток пресной питьевой воды.

Борьба с явлением «парникового эффекта»

По мнению экологов, наиболее действенными будут такие меры, как повышение эффективности энергопользования и переход к альтернативным видам топлива (отказ от ископаемых видов топлива, таких как нефть и уголь). В декабре 1997 года на встрече в Киото (Япония), посвященной глобальному изменению

климата, делегатами из более чем ста шестидесяти стран была принята конвенция, обязывающая развитые страны сократить выбросы CO_2 . Киотский протокол обязывает тридцать восемь индустриально развитых стран сократить к 2008-2012 годам выбросы CO_2 на 5% от уровня 1990 года:

- Европейский союз должен сократить выбросы CO_2 и других тепличных газов на 8%.
- США - на 7%.
- Япония - на 6%

Кислые атмосферные выпадения на сушу (кислотные дожди).

Кислотность атмосферных осадков в настоящее время сильно возросла. Это явление связано с процессом сжигания сланцев, природных энергоносителей (нефти, газа, угля), продуктов утилизации в быту, сельском хозяйстве и на производстве. Хозяйственная деятельность человека почти вдвое увеличила поступление в атмосферу не только окислов углерода, но также окислов серы и азота. Эти окислы, поступая в атмосферу, переносятся на расстояния и взаимодействуют с парами воды. В результате таких реакций образуются кислоты (рис. 9), которые выпадают в виде «кислотных дождей» на сушу.

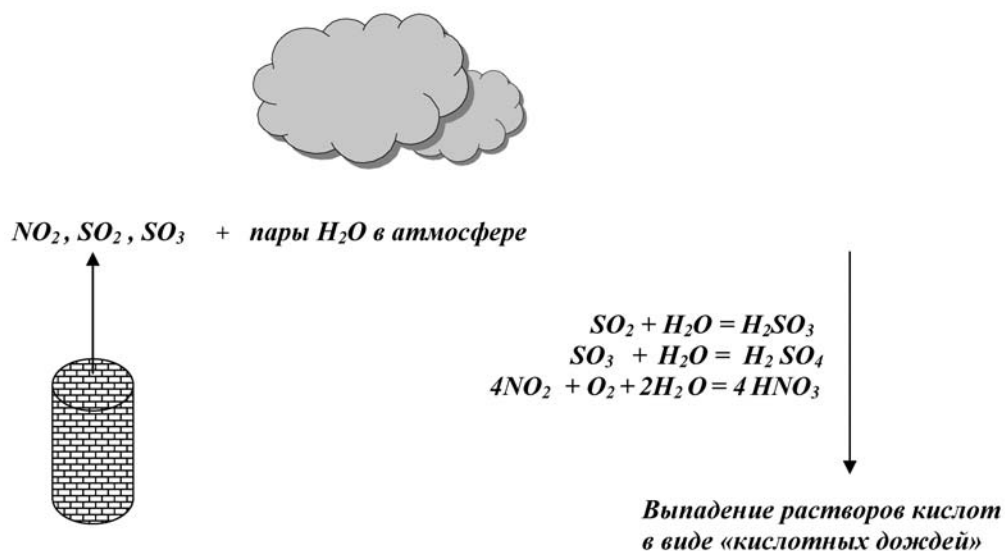


Рис. 9. Схема механизма образования кислотных дождей

Таким образом, *кислотные дожди* - это любые метеорологические осадки: дожди, туманы, снег – с уровнем кислотности превышающем норму. В промышленных центрах, многочисленные выбросы приводят к образованию кислых осадков. Выпадая на поверхность Земли, кислотные дожди приводят к закислению почв, поражают растительность, которая очень чувствительна к этому виду загрязнений. Особенно страдают лишайники и хвойные виды деревьев. Хвойные деревья желтеют, у них изреживаются кроны, повреждаются мелкие корни. Но страдают и лиственные деревья – у них изменяется окраска листьев, преждевременно опадает листва, гибнет часть кроны, повреждается кора. Естественного возобновления хвойных и лиственных лесов не происходит. Попадая в водоемы, кислота и сульфаты существенно увеличивают кислотность поверхностных вод. При этом заметно падает репродуктивность рыб.

Кислотные дожди повреждают городскую растительность, вызывают сильное раздражение дыхательных путей и кожи людей, ускоряют коррозию металлических конструкций и разрушают мраморные скульптуры («каменный рак») и деталей архитектуры многих исторических памятников, например в Италии.

Развитие химической промышленности привело к тому, что в природную среду попадает ежегодно 2-3 тысячи новых веществ, никогда прежде не существовавших в природе. Среди них есть и относительно безвредные, есть и такие высокотоксичные, как, например диоксан. Хотя для некоторой части химических выбросов установлены относительно безопасные концентрации в атмосфере (ПДК), взаимодействие нескольких вредных веществ может привести к заметным нарушениям здоровья людей и разрушительно влиять на экосистемы.

Канцерогены – вещества, способствующие развитию раковой опухоли в организме. К ним относятся: формальдегид, бензпирен, этиленоксид, никель, хлороформ и др. В России огромное число населения подвергается воздействию канцерогенных веществ(Хван, 2001):

Респ. Татарстан	-	2.795.800 человек
Красноярский край	-	2.173.000
Архангельская обл.	-	788.700
Томская обл.	-	481.100
Ивановская обл.	-	463.400
Челябинская обл.	-	426.800
Кировская обл.	-	93.600
Волгоградская обл.	-	29.600
Новгородская обл.	-	10.000

По качеству атмосферного воздуха самым неблагоприятным для проживания является Восточно-Сибирский экономический район. Здесь и наиболее высокий в России показатель смертности – 1490 человек на 100.000 населения (в среднем по стране – 1471).

Понятие об озоновом слое Земли.

Кислород способен превращаться в озон (O_3) под воздействием источников энергии. Наиболее активно этот процесс происходит в верхних слоях атмосферы (на высоте 20-50 км) под воздействием жесткого УФ-излучения.

Таким образом, в верхних слоях атмосферы образуется озоновый слой. Он обладает уникальным свойством – способностью задерживать жесткое (коротковолновое) ультрафиолетовое излучение, поступающее на Землю от солнца. Такое излучение обладает мощным ионизирующим эффектом: оказывает разрушающее воздействие на клетки живого организма. Озон поглощает жесткое излучение и дает возможность проникновения «мягкому» (длинноволновому) УФ-излучению – жизненно необходимому для жизнедеятельности продуцентов, поэтому озоновый слой атмосферы называют «*озоновым экраном*» Земли.

Одной из глобальных экологических проблем является разрушение озонового слоя и появление, так называемых, «озоновых дыр», сквозь которые вредное коротковолновое УФ-излучение может проходить беспрепятственно и поражать ткани живых организмов. Подобные «бреши» образуются при воздействии на озоновый экран некоторых веществ. Наиболее активными являются *хлорфторуглероды*.

Хлорфторуглероды (фреоны) – соединения хлора со фтором и углеродом. Эти вещества широко используются в бытовых и промышленных холодильных установках как хладагент. Кроме того, это вещество используется в баллончиках дезодорантов, инсектицидов, красок и т.д., где распыляющим агентом также является фреон. Выброс фреонов в атмосферу составил в 1974 году 850 тыс. тонн. При поломках указанных агрегатов, или при распылении содержимого дезодорантов фреон улетучивается и попадает в верхние слои атмосферы. Здесь от молекул хлорфторуглеродов отщепляется свободный хлор, который ускоряет распад озона.

Жесткое УФ-излучение способствует повышению вероятности возникновения рака кожи у людей, поскольку эти излучения обладают мутагенным свойством. Мутагенное свойство проявляет себя и при воздействии на растения и животных планеты.

Назрела острая необходимость срочных мер по охране озонового экрана Земли. Например, разработаны новые хладагенты в промышленности и быту, новые виды топлива самолетов и ракетных двигателей. Разрабатываются новые технологии, максимально снижающие попадания разрушающих озон агентов. По современным оценкам содержание озона с 2000 года изменится незначительно.

4.6.2. Физические загрязнения

Радиоактивные вещества, электромагнитные излучения, тепловое загрязнение, шумы, вибрации и др.

Тепловое загрязнение связано с повышением температуры вод в результате их смешивания с более нагретыми поверхностными или технологическими водами. При повышении температуры происходит изменение газового и химического состава в водах, что ведет к размножению анаэробных бактерий, росту гидробионтов и выделению ядовитых газов — сероводорода, метана. Одновременно происходит “цветение” воды, а также ускоренное развитие микрофлоры и микрофауны, что способствует развитию других видов загрязнения.

Тепловое загрязнение поверхности водоемов и прибрежных морских акваторий возникает в результате сброса нагретых сточных вод электростанциями и некоторыми промышленными производствами. Сброс нагретых вод во многих случаях обуславливает повышение температуры воды в водоемах на 6-8 градусов Цельсия.

Повышение температуры в водоёмах пагубно влияет на жизнь водных организмов. В течение длительной эволюции холоднокровные обитатели водной среды приспособились к определённому интервалу температур. Для каждого вида существует температурный оптимум, который на определённых стадиях жизненного цикла может несколько изменяться. В естественных условиях при медленных повышениях или понижениях температур рыбы и другие водные организмы постепенно приспосабливаются к изменениям температуры окружающей среды. Но если в результате сброса в реки и озёра горячих стоков с промышленных предприятий быстро устанавливается новый температурный режим, времени для акклиматизации не хватает, живые организмы получают тепловой шок и погибают.

Искусственное подогревание воды может существенно изменить и поведение рыб - вызвать несвоевременный нерест, нарушить миграцию. Если раз-

рушающая сила электростанций превышает способность видов к самовосстановлению, популяция приходит в упадок.

Повышение температуры воды способно нарушить структуру растительного мира водоёмов. Характерные для холодной воды водоросли заменяются более теплолюбивыми и, наконец, при высоких температурах полностью ими вытесняются. Размножившись, они начинают закрывать друг другу свет, в результате чего идёт процесс их массового отмирания и гниения, сопровождающийся ускоренным потреблением кислорода, вплоть до полного его исчерпания. А в этом случае, как уже говорилось, вся экосистема может погибнуть.

Все перечисленные выше последствия теплового загрязнения водоёмов наносят огромный вред природным экосистемам и приводят к пагубному изменению среды обитания человека.

Шумовое загрязнение.

В экологии для всех живых организмов, в том числе и для человека, звук является одним из факторов воздействия окружающей среды. Тихий шелест листвы, журчание ручья, птичьи голоса, классическая музыка – всегда приятны человеку. Они успокаивают его, снимают стрессы. Но естественные голоса природы становятся все более редкими, заглушаются промышленными, транспортными и другими средствами. Мы с удовольствием слушаем песню, игру пианиста, скрипача, оркестры. Эти звуки мы называем музыкой. В физике музыкальным называют тот звук, в котором изменение акустического давления, воспринимаемое ухом, упорядоченно, и, кроме того, повторяется регулярно, через равные промежутки времени. Звук перестает быть музыкальным и называется **шумом**, если звуковое давление изменяется в нем беспорядочно. *Шумы – беспорядочные периодические колебания различной природы.*

Уровень шума измеряется в единицах, выражающих степень звукового давления – децибелах (ДБ). Это давление воспринимается не беспрельдно. Шум в 20 – 30 ДБ практически безвреден для человека и составляет естественный звуковой фон, без которого невозможна жизнь. Что же касается «громких звуков», то здесь допустимая граница поднимается примерно до 80 ДБ. Шум в 130 ДБ уже вызывает у человека болевое ощущение, а достигнув 150 ДБ становится для него непереносимым. Если в 60 – 70 годы прошлого столетия шум на улицах не превышал 80 ДБ, то в настоящее время он достигает 100 ДБ и более. На многих оживленных магистралях даже ночью шум не бывает ниже 70 ДБ, в то

время как по санитарным нормам он должен не превышать 40 ДБ. По данным специалистов, шум в больших городах ежегодно возрастает примерно на 1 ДБ.

Шум, даже когда он невелик, создает значительную нагрузку на нервную систему человека, оказывая на него психологическое воздействие. Это особенно часто наблюдается у людей, занятых умственной деятельностью. Слабый шум различно влияет на людей. Причиной этого могут быть: возраст, состояние здоровья, вид труда. Воздействие шума зависит также и от индивидуального отношения к нему. Так, шум, производимый самим человеком, не беспокоит его, в то время как небольшой посторонний шум может вызвать сильный раздражающий эффект.

Отсутствие необходимой тишины, особенно в ночное время, приводит к преждевременной усталости. Шумы высоких уровней могут явиться хорошей почвой для развития стойкой бессонницы, неврозов и атеросклероза.

Под воздействием шума от 85 – 90 ДБ снижается слуховая чувствительность на высоких частотах. Долгое время человек жалуется на недомогание. Симптомы – головная боль, головокружение, тошнота, чрезмерная раздражительность. Все это результат работы в шумных условиях. Постоянное воздействие сильного шума может не только отрицательно повлиять на слух, но и вызвать звон в ушах, головокружение, головную боль, повышение утомляемости. Отмечено, что после 6-7 часовой работе при интенсивности шума в 70-80 ДБ нарушается динамика высшей нервной деятельности, клетки коры головного мозга находятся на пределе, близком к истощению, ослабевает деятельность головного мозга, расстраивается работа вегетативной нервной системы, а в связи с этим и заболевания внутренних органов. Вредное действие шума возрастает с прибавлением в его составе высоких частот

Влияние шума на человека до некоторых пор не было объектом специальных исследований. Ныне воздействие звука, шума на функции организма изучает целая отрасль науки – аудеология.

Установлено, что некоторые шумы природного происхождения благотворно влияют на организм человека, поскольку они являются составляющей абиотической среды эволюции человека. К таковым относятся такие шумы, как: шелест листвы, журчание воды, шум прибоя, дождя и др. В современной медицине такие шумы («звуки природы») используются для профилактики и в комплексном лечении различных заболеваний.

В среде, измененной человеком, все больше появляется так называемых «синтетических звуков», в составе которых преобладают высокочастотные волны.

Под влиянием сильного шума, особенно высокочастотного, в органе слуха происходят необратимые изменения.

При высоких уровнях шума слуховая чувствительность падает уже через 1 – 2 года, при средних – обнаруживается гораздо позже, через 5 – 10 лет, то есть снижение слуха происходит медленно, болезнь развивается постепенно. Поэтому особенно важно заранее принимать соответствующие меры защиты от шума. В настоящее время почти каждый человек, подвергающийся на работе воздействию шума, рискует стать глухим.

Акустические раздражения исподволь, подобно яду, накапливаются в организме, все сильнее угнетая нервную систему. Изменяется сила, уравновешенность и подвижность нервных процессов – тем более, чем интенсивнее шум. Реакция на шум нередко выражается в повышенной возбудимости и раздражительности, охватывающих всю сферу чувственных восприятий. Люди, подвергающиеся постоянному воздействию шума, часто становятся трудными в общении.

Итак, шум оказывает свое разрушающее действие на весь организм человека. Его губительной работе способствует и то обстоятельство, что против шума мы практически беззащитны. Ослепительно яркий свет заставляет нас инстинктивно зажмуриваться. Тот же инстинкт самосохранения спасает нас от ожога, отводя руку от огня или от горячей поверхности. А вот на воздействие шумов защитной реакции у человека нет.

В отличие от шумовых волн, которые вызывают отрицательные вибрации в мягких тканях организма человека, музыкальные звуки вибрируют в унисон с естественными колебаниями организма, что крайне благотворно действует на здоровье нервной системы и психики людей. Негромкая классическая музыка снимает напряжение нервной системы человека. Это используется в лечебных заведениях, в кабинетах психологической разгрузки.

Воздействие и свойства музыки изучались с древних времен. За несколько столетий накоплено множество материалов, базирующихся на субъективном наблюдении, детальном изучении психо-эмоциональных, интеллектуальных и физиологических изменений после воздействия той или иной музыки на человека. К 19 веку ученым-физиологам было известно, что под воздействием музыки изменяются кровяное давление, частота сердечных сокращений, устраняются чувство усталости (как физической, так и эмоциональной) и т.п., по-

сколькo многочисленные опыты установили, что эмоции у людей и у животных порождаются центральными областями головного мозга. Важнейшая роль в этом процессе принадлежит гипоталамусу. Отсутствие этого участка мозга или его повреждение могут привести к полному исчезновению эмоциональных переживаний, что также подтверждено многочисленными фактами.

О воздействии музыки на живые организмы ведутся многочисленные дискуссии и споры. В древности выделяли 3 направления воздействия акустических волн на человеческий организм:

- 1) на духовную сущность человека;
- 2) на интеллект;
- 3) на физическое тело.

В настоящее время эксперименты ведутся в нескольких направлениях:

- влияние отдельных музыкальных инструментов на живые организмы;
- влияние музыки гениев человечества;
- индивидуальное воздействие отдельных произведений композиторов;
- воздействие на организм человека традиционных народных направлений в музыке;
- влияние музыки авангарда и др.

Причем, все виды воздействий рассматриваются не только с точки зрения физиологии, психологии и этологии человека, но и с точки зрения биохимии, биофизики и других наук.

Постепенно пополняются современные научные знания, свидетельствующие о том, что музыка – мощнейший источник энергии, комплексно воздействующий на организмы.

Любое произведение искусства воздействует на человека, прежде всего, психологически. Экологическим же фактором то или иное искусство становится тогда, когда достаточно широкомасштабно представляет в той среде, в которой осуществляется жизнедеятельность человека, и, в силу этого, значимо влияет на состояние и поведение людей. Поскольку музыка приобрела характер антропогенного экологического фактора, то есть стала неотъемлемым компонентом акустического воздействия на живые организмы (а для музыкантов еще и профессиональной средой), то невольно возникает вопрос: каким образом та или иная музыка воздействует на организм, и возможно ли отрицательное влияние музыки?

Музыкотерапевты убеждены в том, что ритм оказывает благотворное воздействие на моторные навыки и способствует синхронности движения, норма-

лизует ритм сердечной деятельности, снижает кровяное давление, понижает уровень стресса. Однако, длительное воздействие ритма (при быстром темпе) 120, 1500 и 300 ударов в минуту рассогласовывает работу нервной системы эндокринных желез.

Доказано, что в большей степени стимулирует работу организма мажор, нежели минор, а еще больше – диссонантные созвучия, хотя они утомляют более всего. Кроме того, быстрый или переменчивый (нежели медленный и ровный) темп; звуковысотные скачки и неровность длительностей (нежели плавность) мелодии; большие инструментальные составы (в сравнении с малыми); человеческий голос, а также некоторые инструменты (например, медные духовые) стимулируют работоспособность внимание. Однако стимулирование работоспособности может приводить к нежелательным результатам: например, в случае усиленной физической нагрузки, музыка выступает в роли отрицательного фактора воздействия на организм. В некоторых ситуациях такая стимуляция может приводить к «срывам» работы организма. Кроме того, подобные длительные акустические раздражения угнетают нервную систему, изменяется подвижность нервных процессов, что может выражаться в повышенной возбудимости и раздражительности, охватывать всю сферу чувственных восприятий.

Музыка – как любой другой экологический фактор, может оказывать не только положительное, но и отрицательное влияние на живой организм. Чаще всего это связано с так называемым «избытком» фактора воздействия (примеры приводились выше) или изменения качества такового. В акустической среде мы можем наблюдать последнее на примере некоторых музыкальных направлений: некоторые из них (например, рок-музыка) имеют разрушительное действие на организм (сведения составлены по многочисленным работам психологов и психофизиологов России и зарубежья).

Российские ученые под руководством профессора С.В. Шушарджана проводили ряд исследований с онкологическими клетками (брали частицу раковой опухоли), а также с клетками микробов. Подопытные культуры клеток помещали в пространство между наушниками и по очереди подвергали воздействию четырех программ: классическая музыка, эстрадно-симфоническая, рок-музыка и средневековые духовные песнопения. Самым сильным оказалось влияние духовной музыки (подавление роста раковых клеток, активизация иммунной системы), самым слабым - эффект рок-музыки. Суть в том, что одни виды музыки активизируют рост клеток, другие - подавляют. Это - ключ к управлению процессами на клеточном уровне.

Радиационные и радиоактивные загрязнения – наиболее опасный тип загрязнений окружающей среды. Радиоактивные нуклиды⁵⁹, попадая в организм человека, нарушают работу клеток (или разрушают клетки), вследствие чего возникают различные неизлечимые болезни. Жизнь на Земле возникла и развивалась в присутствии радиоактивных элементов, количество которых и обусловленное ими облучение оставалось практически неизменным на протяжении геологических эпох, составляя дозу радиации для всего живого порядка 10^{-3} Гр. в год. Можно предположить, что радиоактивный фон является необходимым для существования жизни на планете в современной форме. И только его повышенный уровень связан с риском для организма. В биосфере повсюду есть *естественные источники радиоактивности*, создающие так называемый *естественный радиационный фон*. *Естественный радиационный фон* – мощность дозы ионизирующего излучения, создаваемая космическим излучением и излучением природных радионуклидов в коре земли, атмосфере, воде, живых организмов. Нормальный фон, не влекущий за собой различные нарушения здоровья, считается 10-20 мкбэр/ч (0,1-0,2 мкР/ч)⁶⁰.

Наибольшую опасность представляет радиоактивное загрязнение биосферы в результате деятельности человека. В результате возникает так называемый *технологически измененный радиационный фон* – этот фон обусловлен использованием материалов с высоким содержанием радионуклидов, при сжигании ископаемого топлива.

Существует также понятие *техногенный радиационный фон* – фон, сложившийся в результате появления на Земле искусственных радионуклидов, образовавшихся при испытании ядерного оружия, в результате ядерных аварий, при работе предприятий ядерного топливного цикла. Образование такого фона представляет собой наибольшую опасность для жизни и здоровья всех живых организмов на планете.

Техногенный фон создается радиоактивными загрязнениями!

Основным их источником радиоактивных загрязнений являются техногенные аварии на ядерных установках. Последние имеются на атомных электростанциях (АЭС), установлены на некоторых ледоколах, подводных лодках и спутниках. Кроме того, в различных отраслях промышленности, хозяйстве и ме-

⁵⁹ Радионуклиды – ядра нестабильных химических элементов, испускающие заряженные частицы и коротковолновые излучения.

⁶⁰ Для характеристики воздействия излучения на человека используются единицы: *биологический эквивалент рентгена (бэр) или зиверт (Зв)*: 1 Зв = 100 бэр.

дицине широко распространены радиоактивные вещества. В 1956 году электроэнергию дал первый опытный реактор Арагонской национальной лаборатории (США). Принцип получения электричества за счет атомной энергии заключается в использовании энергии урана-235. Этот процесс происходит в специальных тепловыделяющих элементах расположенных в активной зоне реактора. При делении выделяется тепло, и образуются радиоактивные отходы, гамма-лучи и нейтроны. Выделяющееся тепло нагревает воду, образовавшийся пар вращает турбину, вырабатывая электрический ток.

На АЭС мира за весь период их эксплуатации насчитывается три крупных аварии. Первая из них произошла в 1957 г. на английском заводе "Селлафильд" (Уиндскайл), занимавшимся регенерацией ядерного топлива. При этом погибло 13 человек и более 260 получили неизлечимые заболевания. Весной 1979 г. на расположенной близ Гаррис-берга (штат Пенсильвания, США) произошла вторая крупная авария на АЭС "Тримайл Айленд". Из-за поломки в системе водяного охлаждения в атмосферу вырвались радиоактивные пары. Радиоактивное загрязнение, распространяясь воздушным путем, захватило значительные территории. К счастью никто из людей не пострадал. Одна из крупнейших экологических катастроф — Чернобыльская авария. В ночь на 26 апреля 1986 г., когда два взрыва разрушили 4-й блок Чернобыльской АЭС, произошел выброс в атмосферу радиоактивного вещества. Из хозяйственного пользования было выведено 3 тыс. кв. км территории, эвакуировано около 116 тыс. человек. По некоторым оценкам до 50% радиоактивных йода и цезия, имевшихся в активной зоне реактора, попало в атмосферу. Выброс радиоактивных веществ в атмосферу продолжался до 6 мая 1986 г. К ноябрю того же года реактор был замурован в "саркофаг". Непосредственный результат аварии — гибель 31 человека и более 200 заболевших лучевой болезнью. Масштабы бедствия заставили обратиться к ранее скрываемым данным по Южно-Уральской катастрофе. Под этим названием на самом деле произошло два радиационных события.

Еще один важный источник радиоактивного загрязнения среды — ядерные испытания. После того как 16 июля 1945 г. в штате Нью-Мехико было взорвано первое атомное устройство и затем последовавших атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки, началась эра разработки самого страшного и разрушительного оружия, которое когда-либо существовало на Земле.

В результате взрывов ядерного оружия, прежде всего, изменяются ландшафты и рельеф местности. Наиболее опасно радиоактивное загрязнение воздуха. С воздушными течениями радиоактивные вещества могут мигрировать на

сотни и тысячи километров. Необходимо отметить, что утечка, радиоактивности происходит и при подземных взрывах, а не только при испытаниях ядерного оружия в атмосфере.

Радиоактивные загрязнения приносят колоссальный вред здоровью человека. **Это биоаккумулирующий вид загрязнения.** В результате облучения человек в течение года в среднем получает дозу 0,1 бэр и, следовательно, за всю жизнь около 7 бэр.

Через почву, воздух и воду радиоактивные загрязнения попадают в растения и организм животных и человека. Радиоактивное излучение проникает в клетки, останавливая деление и разрушая их, что приводит к лучевой болезни или даже к смерти. Но это наблюдается при больших дозах воздействия, однако, очевидно, наиболее опасны низкие дозы радиации. При этом повреждается наследственный аппарат клетки и в результате могут развиваться лейкозы и злокачественные опухоли, а облучение половых клеток чревато врожденными дефектами у потомства. Установлено, что допустимое облучение населения в нормальных условиях за год составляет 500 мбэр (0,06 мбэр/час), разовое допустимое аварийное облучение населения— 10 бэр, местное облучение при рентгенографии желудка — 30 бэр, облучение же дозой мощностью свыше 100 бэр приводит к развитию лучевой болезни, причем тяжелая степень лучевой болезни, при которой погибают 50% облученных наблюдается при дозе в 450 бэр

Действие ионизирующей радиации на биогеоценозы изучено не достаточно. Исключения составляют лесные экосистемы, среди которых наиболее чувствительными являются хвойные деревья. Это связано с тем, что вечнозеленая крона деревьев этих пород задерживает значительную часть выпадающих радионуклидов, что приводит к повреждению жизненно важных и репродуктивных органов растений и даже к гибели.

Электромагнитные загрязнения. Электромагнитные загрязнения прочно вошли в природную среду благодаря внедрению цивилизации. Источниками этих загрязнений служат линии электропередач, кабельные сети, СВЧ-печи, телевизоры, радио- и телепередающие станции (наиболее мощные источники), радиотелефоны и др. Напряженность электромагнитного поля искусственных источников в сотни и тысячи раз превышает естественный электромагнитный фон экосистем. Существенное влияние на человека оказывают статические и электрические поля. На поверхности таких материалов как линолеум, пластик, лакированные и полированные поверхности и др. накапливаются электрические заряды (напряженность электростатического поля может достигать 30

кВ/м, вызывая искровой разряд). Статические заряды, накапливающиеся на одежде из синтетических тканей, негативно воздействуют на биологически активные точки человека.

4.6.3. Биологические загрязнения

Это превышение численности животных организмов сверх допустимой в естественных условиях предельной нормы, а также привнесение в окружающую среду новых, не свойственных ей ранее животных организмов.

Последствия этого могут проявляться в резком возрастании численности вредных для человека сорных растений, животных, микроорганизмов. Дополнительную опасность представляют вспышки инфекционных заболеваний, переносимых некоторыми организмами.

Развитие биотехнологии и генной инженерии создает новую экологическую опасность – возможность попадания в окружающую среду агрессивных микроорганизмов с непредсказуемыми свойствами. Аналогичную опасность представляют собой медицинские и ветеринарные лаборатории, работающие с возбудителями заболеваний.

4.7. САНИТАРНЫЕ АСПЕКТЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В наш век особое значение имеет охрана природы, разработка основ разумного вида производства, использования природных ресурсов, сохранение определенных закономерностей в биосфере. В систему охраны природы включаются мероприятия по рациональному использованию, сохранению, восстановлению и улучшению состояния природных ресурсов земного шара.

Регулирование природопользования осуществляется с помощью механизма административно-правовых форм управления через систему нормативно-технических документов. Важнейшими из них являются экологические нормы, правила и стандарты, которые разрабатываются на основе природоохранного законодательства с учетом экологических, санитарно-гигиенических, технических и экономических требований. *Стандарты качества природной среды* — единые требования, правила и нормативы, отвечающие современному уровню научно-технического прогресса и предъявляемые к организациям в целях охраны природы на основе правильного соотношения экологических и экономических интересов. *Установление предельно допустимых концентраций* — ме-

ра, которая ограничивает содержание загрязняющих веществ в окружающей среде

Организм человека испытывает влияние факторов окружающей среды, причем загрязнение воздуха, водоемов, почв и растений представляет большую опасность для здоровья. Для снижения концентрации загрязняющих веществ в слоях биосферы введены санитарно-гигиенические нормативы и критерии. Так, для санитарной оценки степени загрязнения окружающей среды используют предельно допустимые концентрации (ПДК). Медиками-гигиенистами определены ПДК для различных видов загрязнений воды, воздуха, почв, продуктов питания.

Особое значение для наблюдения за качеством состояния окружающей среды принадлежит экологическому мониторингу. В Программе ЮНЕСКО “Человек и биосфера” дано следующее определение мониторинга: “Мониторинг рассматривается как система регулярных длительных наблюдений в пространстве и времени, дающих информацию о состоянии окружающей среды, с целью оценки прошлого, настоящего и прогноза изменения в будущем параметров окружающей среды, имеющих значение для человека”.

Основная задача экологического мониторинга — предупреждение естественных и антропогенных изменений состояния природной среды, способных нанести экономический, моральный и социальный вред человечеству.

Экологический мониторинг подразделяется на: *глобальный (биосферный)*; *национальный*, осуществляемый в пределах государства; *региональный (геосистемный)* — в пределах отдельных крупных районов; *локальный*, действующий в пределах населенных пунктов, промышленных центров, предприятий.

1. *Глобальный мониторинг* осуществляется на основе международного сотрудничества. Это система наблюдений за общепланетарными изменениями атмосферы, гидросферы, растительного и почвенного покрова, животного мира.

2. *Национальный мониторинг* — слежение за взаимодействием природы и человека в зональных биосферных заповедниках (станциях) на территории государства для получения информации об изменениях качества среды.

3. *Региональный мониторинг* — система наблюдений на региональном уровне за изменениями окружающей среды в процессе природопользования, особенно в интенсивно осваиваемых районах (его часто называют хозяйственным). Объектами мониторинга служат исчезающие виды растений и животных,

агро- и природные экосистемы. Отслеживают общее состояние растений и животных, урожайность сельскохозяйственных культур.

4. *Локальный (биоэкологический)*, вернее, санитарно-гигиенический мониторинг предполагает контроль за уровнем содержания в природных средах токсичных для человека загрязняющих веществ. Он включает наблюдения за отдельными изменениями компонентов природной среды в результате воздействия конкретных загрязнителей (загрязнение воздуха, воды, почв под влиянием предприятий,строек, воздействие мелиоративных систем на почвы, растительность).

Таким образом, система мониторингов, необходимая для учета, анализа, оценки и прогноза изменения состояния природной среды на различных уровнях, позволяет принимать меры по достижению и сохранению стабильно равновесного состояния жизненной среды.

Экологическая экспертиза. Это система комплексной оценки состояния территории, охватывающая все виды хозяйственной деятельности. Ее цели — определение соответствия или несоответствия сложившейся структуры использования территории потенциальным природным возможностям, а также разработка рекомендаций по сохранению экологического равновесия.

-
1. Что такое загрязнения? Какие вы знаете виды загрязнений? Почему небiodeградирующие загрязнения приносят наибольший вред биосфере?
 2. Расскажите об этапах загрязнения биосферы. На каком этапе эффект загрязнений будет необратимым? Чем опасна биоаккумуляция?
 3. Что такое химические загрязнения? Какие из видов химических загрязнений причиняют наибольший вред здоровью?
 4. В чем заключается явление «парникового эффекта»? Какие последствия влечет он за собой?
 5. Что такое физические загрязнения? Какие из них являются наиболее опасными для биосферы? Почему?
 6. Дайте определение «мониторинг окружающей среды». Какие виды мониторинга приняты в России?
 7. Какие вопросы подлежат решению при организации мониторинга среды?
 8. Какие существуют пути охраны природы (в том числе и законодательный вопрос) в России? Какие из них, по вашему мнению, являются наиболее эффективными и правильными? Предложите свою схему восстановления и содержания экологически чистой среды обитания.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Экологическая ответственность.

Понятие и виды экологической ответственности

Юридическая ответственность за экологические правонарушения и преступления - есть лишь одна из форм обеспечения экологической безопасности населения, охраны природной среды и рационального использования ее ресурсов. Она осуществляется наряду с экономическими, политическими, нравственно-воспитательными, образовательными мерами, мерами по возмещению причиненного природе или здоровью человека вреда и иными.⁶¹

В комплексном виде законодательное закрепление ответственности по экологическому праву произведено в статье 81 Закона РСФСР от 19 декабря 1991 г. "Об охране окружающей природной среды".⁶²

Она предусматривает, что за экологические правонарушения должностные лица и граждане несут дисциплинарную, материальную, административную, гражданско-правовую либо уголовную ответственность, а предприятия, учреждения, организации - административную и гражданско-правовую в соответствии с названным законом и иными законодательными актами Российской Федерации и ее субъектов.

К законодательным актам, содержащим общие положения об ответственности правонарушителей, относится, например, федеральное природоохранительное и породоресурсное законодательство:

- Закон РФ "Об экологической экспертизе" от 23 ноября 1995 г.⁶³
- Закон РФ "Об особо охраняемых природных территориях" от 14 марта 1995 г.⁶⁴
- Закон РФ "О природных лечебных ресурсах, лечебно-оздоровительных местностях и курортах" от 23 февраля 1995 г.⁶⁵

⁶¹ Желваков Э.Н. Экологические правонарушения и ответственность. М.: ЭАО Бизнес-школа "Интел-Синтез". 1997. С.4

⁶² Закон РСФСР "Об охране окружающей природной среды" от 19 декабря 1991г. // Ведомости Съезда народных депутатов РФ и Верховного Совета РФ. 1992. № 10.

⁶³ Закон РФ "Об экологической экспертизе" от 23 ноября 1995 г N 174-ФЗ. Российская газета от 19 декабря 1995г.

⁶⁴ Закон РФ "Об особо охраняемых природных территориях" от 14 марта 1995 г N 33-ФЗ. Российская газета от 22 марта 1995г.

- "Земельный Кодекс РСФСР от 25 апреля 1991 г.⁶⁶
- Основы лесного законодательства РФ от 6 марта 1993 г.⁶⁷
- Водный кодекс РФ от 18 октября 1995 г.⁶⁸
- Закон РФ "О животном мире" от 24 апреля 1995 г.⁶⁹
- Закон РСФСР "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" от 19 апреля 1991 г. и др.⁷⁰

Статьей 6 Кодекса об административных правонарушениях РСФСР (КАП) субъекты Федерации, в частности, наделены правом устанавливать административную ответственность за нарушение: правил охоты и рыболовства; правил осуществления других видов пользования животным миром; решений по вопросам борьбы со стихийными бедствиями и эпидемиями; правил по карантину животных; ветеринарных правил.⁷¹

В соответствии со ст. ст. 71, 72 Конституции РФ принятие норм уголовного, уголовно-исполнительного, гражданского права относится к ведению Федерации.⁷²

Административное, трудовое, семейное, жилищное, водное, лесное законодательство, законодательство о недрах, об охране окружающей природной среды находится в совместном ведении РФ и субъектов РФ.

Эти обстоятельства следует принимать во внимание при решении вопросов юридической ответственности за экологические правонарушения.

⁶⁵ Закон РФ "О природных лечебных ресурсах, лечебно-оздоровительных местностях и курортах" от 23 февраля 1995 г. N 26-ФЗ. Российская газета от 01 марта 1995г.

⁶⁶ "Земельный Кодекс РСФСР от 25 апреля 1991 г. ВВС РСФСР № 1303-1 за 1991г.

⁶⁷ Основы лесного законодательства РФ от 6 марта 1993 г. Российская газета от 17 апреля 1993г.

⁶⁸ Водный кодекс РФ от 18 октября 1995 г. – М.: Юрид. лит, 1985.

⁶⁹ Закон РФ "О животном мире" от 24 апреля 1995 г. N 52-ФЗ. Российская газета от 4 мая 1995г.

⁷⁰ Закон РСФСР "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" N 52-ФЗ от 19 апреля 1991 г. (В ред. 30 марта 1999 года. Российская газета №№64, 65 от 16 апреля 1999г.

⁷¹ КоАП РСФСР. – М.: Юрид.лит, 1999.

⁷² Конституция Российской Федерации от 12 декабря 1993г. – М.: Юрид.лит, 1999

ЛИТЕРАТУРА

1. Ерофеев Б.В. Экологическое право России. Учебник. Издание 2, переработанное и дополненное. М. Юрист. 1996.
2. Захаров В.Б., Мамонтов С.Г., Сивоглазов В.И. Биология. Общие закономерности. Учебник. М., «Школа-Пресс», 1996.
3. Карташев А.Г. Введение в экологию. Учебное пособие. Томск. 1998.
4. Криксунов Е.А., Пасечник В.В., Сидорин А.П. Экология. Учебник для общеобразовательных учебных заведений. М. «Дрофа». 1995.
5. Мансуров А.Н., Мансуров Н.А.. Физика. — Учебник для 10-11 классов, для школ с гуманитарным профилем обучения. — М.: Просвещение, 2003. — 222 с.
6. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б., Сотский Н.Н. Физика. Учебник для 10 класса. — М.: Просвещение, 2003. — 336 с.
7. Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б. Физика. Учебник для 11 класса. — М.: Просвещение, 2003. — 336 с.
8. Общая биология. Учебник. Под ред. Шумного В.К., Дымшица Г.М., Рувинского А.О. М. «Просвещение». 2001.
9. Розанов С.И. Общая экология. Учебник. Санкт-Петербург. 2001
10. Рудзитис Г.Е., Фельдман Ф.Г. Химия. Учебник для 10 класса. — М.: АСТ-Астрель, 2003. — 159 с.
11. Рудзитис Г.Е., Фельдман Ф.Г. Химия. Учебник для 11 класса. — М.: АСТ-Астрель, 2003. — 143 с.
12. Хван Т.А., Хван П.А. Основы экологии. Учебное пособие. Изд-во «Феникс» Ростов-на-Дону. 2001.
13. Ченцов Ю.С. Общая цитология (введение в биологию клетки). Издание 3, переработанное и дополненное. М., издательство Московского университета, 1995.
14. Экологическое право России. Учебник под ред. Ермакова В.Д., Сухарева А.Я. М. Институт международного права и экономики. Изд-во «Триада ЛТД» 1997.

В подготовке учебника использовались материалы сайтов Internet:

*www.krugosvet.ru; www.ecosystema.ru; www.atom.nw.ru; www.erudition.ru;
www.accoona.ru; www.rocich.ru и другие.*

Шепель О.М., Рассказова А.О.

«ЕСТЕСТВЕННИКУМ»

Редактор Осокина С.Е.
Корректор Чабовская Н.И.

Компьютерная верстка Валевиц А.А.,
Дизайн обложки Осиев К.О.

Гарнитура KorinnaС. Бумага офсетная №1. Печать офсетная. 220 с. Уч. изд.
Издательство ФГУ «Томский ЦНТИ». Лицензия ИД №05060 от 14.06.2001 г.
Отпечатано в ФГУ «Томский ЦНТИ» Лицензия ПД №12-0084 от 16.04.2001 г.
Подписано в печать 18.05.2006 г. Тираж 100 экз.
634021, г. Томск, пр. Фрунзе, 115/3. Тел. (3822)26-31-69.