

**СРЕДНЕЕ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ**

О.Е. Саенко
Т.П. Трушина
О.В. Арутюнян

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ

Рекомендовано
ФГАУ «Федеральный институт развития образования»
в качестве **учебного пособия**
для использования в учебном процессе образовательных учреждений,
реализующих программы НПО и СПО

Регистрационный номер рецензии № 594 от 18.12.2012 ФГАУ «ФИРО»

КНОРУС • МОСКВА • 2014

Knorus media
электронные версии книг

**СРЕДНЕЕ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ**

О.Е. Саенко
Т.П. Трушина
О.В. Арутюнян

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ

Рекомендовано
ФГАУ «Федеральный институт развития образования»
в качестве **учебного пособия**
для использования в учебном процессе образовательных учреждений,
реализующих программы НПО и СПО

Регистрационный номер рецензии № 594 от 18.12.2012 ФГАУ «ФИРО»

КНОРУС • МОСКВА • 2014

Knorus media
электронные версии книг

УДК 50(075.8)

ББК 20я73

С14

Рецензенты:

В.Е. Гутерман, проф. кафедры электрохимии ФГАОУ ВПО «Южный федеральный университет», д-р хим. наук,

Т.В. Марченко, заведующая отделением экономики и права ГБОУ СПО РО «Ростовский торгово-экономический колледж»

Саенко О.Е.

С14 Естествознание : учебное пособие / О.Е. Саенко, Т.П. Трушина, О.В. Арутюнян — М. : КНОРУС, 2014. — 368 с. — (Среднее профессиональное образование).

ISBN 978-5-406-02749-3

Содержит три основных раздела, обладающих относительной самостоятельностью и целостностью: «Физика», «Химия с элементами экологии», «Биология с элементами экологии». В дополнение к теоретическому материалу, изложенному в доступной форме и логической последовательности, в каждый раздел включены лабораторные работы, выполнение которых сформирует у обучающихся умение применять полученные знания для объяснения явлений окружающего мира, восприятия информации естественно-научного и специального (профессионально значимого) содержания.

Соответствует примерной программе по естествознанию для профессий и специальностей среднего профессионального образования социально-экономического и гуманитарного профилей на базе основного общего образования.

Для студентов профессиональных образовательных организаций.

УДК 50(075.8)

ББК 20я73

Саенко Ольга Евгеньевна
Трушина Татьяна Павловна
Арутюнян Ольга Викторовна

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ

Сертификат соответствия № РОСС RU. АЕ51. Н 16509 от 18.06.2013.

Изд. № 5142. Формат 60×90/16. Подписано в печать 10.01.2014

Гритура «NewtonС». Печать офсетная

Усл. печ. л. 23,0. Уч.-изд. л. 15,1. Тираж 700 экз. Заказ №

ООО «КноРус»

117218, Москва, ул. Кедрова, д. 14, стр. 2.

Тел.: 8-495-741-46-28.

E-mail: office@knorus.ru <http://www.knorus.ru>

Отпечатано в филиале «Чеховский Печатный Двор»

ОАО «Первая Образцовая типография»

142300, Московская область, г. Чехов, ул. Полиграфистов, д. 1.

© Саенко О.Е., Трушина Т.П.,
Арутюнян О.В., 2014

© ООО «КноРус», 2014

ISBN 978-5-406-02749-3

ОГЛАВЛЕНИЕ

РАЗДЕЛ I. ФИЗИКА

Глава 1. Механика	7
1.1. Кинематика точки и твердого тела	7
1.1.1. Кинематика точки	7
1.1.2. Кинематика твердого тела	22
1.2. Динамика	25
1.2.1. Динамика, Законы механики Ньютона	25
1.2.2. Силы в природе	27
1.3. Законы сохранения в механике	34
1.3.1. Закон сохранения импульса	34
1.3.2. Закон сохранения энергии	36
1.4. Механические колебания и волны	38
1.4.1. Механические колебания	38
1.4.2. Механические волны	41
Глава 2. Молекулярная физика и термодинамика	44
2.1. Молекулярная физика и тепловые явления	44
2.1.1. Основные положения молекулярно-кинетической теории. Молекулы и атомы	44
2.1.2. Температура. Энергия теплового движения молекул	46
2.1.3. Уравнение состояния идеального газа. Газовые законы	50
2.2. Основы термодинамики	52
2.2.1. Первый и второй законы термодинамики	52
2.2.2. Агрегатные состояния вещества	56
Глава 3. Электродинамика	63
3.1. Электростатика	63
3.1.1. Электрический заряд. Электрическое поле. Проводники	63
3.1.2. Законы постоянного тока. Законы Ома	70
3.2. Магнитное поле	75
3.2.1. Магнитное поле. Его свойства. Модуль и направление вектора магнитной индукции	75
3.2.2. Сила Ампера и сила Лоренца	77
3.3. Электромагнитная индукция	79
3.3.1. Явление электромагнитной индукции. Магнитный поток. Правило Ленца	79
3.3.2. Закон электромагнитной индукции. Вихревое электрическое поле	82
3.4. Электромагнитные колебания и волны	84

3.4.1. Электромагнитные колебания	84
3.4.2. Переменный электрический ток	85
3.4.3. Электромагнитные волны	88
3.5. Оптика	92
3.5.1. Законы отражения и преломления света	92
3.5.2. Линзы. Построение изображений	95
Глава 4. Строение атома и квантовая физика	99
4.1. Квантовая физика и атомная физика	99
4.1.1. Квантовая гипотеза Планка. Фотоэффект. Фотоны	99
4.1.2. Строение атома. Опыт Резерфорда	101
4.2. Строение атомного ядра	103
4.2.1. Радиоактивность. Строение атомного ядра	103
Лабораторные работы к разделу «Физика»	106
 РАЗДЕЛ II. ХИМИЯ С ЭЛЕМЕНТАМИ ЭКОЛОГИИ	
Глава 5. Химические свойства и превращения веществ	117
5.1. Основные понятия химии	117
5.2. Периодическая система химических элементов	120
5.3. Виды химической связи	125
5.4. Химические реакции. Скорость химической реакции	128
Глава 6. Неорганические соединения	133
6.1. Теория электролитической диссоциации	133
6.2. Классы неорганических соединений и их свойства	137
6.3. Простые вещества и их свойства	144
Глава 7. Органические соединения	157
7.1. Теория строения органических соединений	157
7.2. Углеводороды	161
7.3. Кислородсодержащие органические соединения	172
7.4. Азотсодержащие органические соединения	182
7.5. Полимеры	185
Глава 8. Химия и организм человека	194
Глава 9. Вода. Растворы	199
9.1. Свойства воды. Растворы	199
9.2. Водные ресурсы Земли	203
Глава 10. Химические процессы в атмосфере	209
10.1. Воздух. Атмосфера и климат	209
10.2. Загрязнение атмосферы и его источники	212
Лабораторные работы к разделу «Химия с элементами экологии»	217

РАЗДЕЛ III. БИОЛОГИЯ С ЭЛЕМЕНТАМИ ЭКОЛОГИИ

Глава 11. Наиболее общие представления о жизни	237
11.1. Жизнь, ее свойства, уровни организации, происхождение и разнообразие	237
11.1.1. Понятие «жизнь». Основные признаки живого	237
11.1.2. Уровни организации живой природы	241
11.1.3. Происхождение жизни	242
11.2. Строение клетки	247
11.2.1. Клеточная теория	247
11.2.2. Строение эукариотической клетки. Органоиды клетки	248
11.2.3. Неклеточные формы жизни — вирусы	259
11.3. Обмен веществ и превращение энергии.	261
11.3.1. Понятие о метаболизме	261
11.3.2. Типы питания живых организмов	262
11.3.3. Пластический обмен	264
11.3.4. Энергетический обмен	265
11.4. Наследственная информация и реализация ее в клетке	267
11.4.1. Генетическая информация	267
11.4.2. Репликация ДНК	270
11.4.3. Хромосомы. их строение	270
11.5. Эволюционное учение	272
11.5.1. Понятие биологической эволюции	272
11.5.2. Понятие вида и его критериев	276
11.5.3. Микроэволюция	277
11.6. Наследственность и изменчивость.	280
11.6.1. Наследственность и изменчивость — свойства организмов	280
11.6.2. Закономерности наследования, установленные Г. Менделем и Т. Морганом	282
11.6.3. Хромосомная теория наследственности	285
11.6.4. Наследственная и ненаследственная изменчивость	285
11.6.5. Мутагены и мутации.	286
11.6.6. Биотехнология. Клонирование. Генная и клеточная инженерия	288
Глава 12. Организация человека и основные проявления его жизнедеятельности	290
12.1. Ткани, органы и системы органов	290
12.2. Пищеварение	293
12.2.1. Питание и пищеварение	293
12.2.2. Питательные вещества и их превращение в различных отделах пищеварительного тракта.	294
12.2.3. Факторы, наносящие вред процессу пищеварения.	302

12.3. Опорно-двигательная система	304
12.3.1. Строение костей и скелет человека	304
12.3.2. Строение и движение мышц и их регуляция	307
12.3.3. Причины нарушения осанки и развитие плоскостопия	309
12.4. Внутренняя среда организма	311
12.4.1. Основные функции крови	311
12.4.2. Кровеносная система	314
12.4.3. Иммуитет и иммунная система	322
12.5. Индивидуальное развитие организма	324
12.5.1. Жизненные циклы. Размножение	324
12.5.2. Развитие зародыша и плода. Беременность и роды	327
12.5.3. Наследственные и врожденные заболевания, передаваемые половым путем	331
12.5.4. Влияние наркотических веществ (табака, алкоголя, наркотиков) на развитие и здоровье человека	335
12.5.5. Становление личности: темперамент, характер, индивид и личность. Интересы, склонности, способности	340
Глава 13. Экология сообществ и экосистем	343
13.1. Экология сообществ и экосистем	343
13.1.1. Понятие о биоценозе, биогеоценозе, экосистеме.	343
13.1.2. Воздействие экологических факторов на организм человека и влияние деятельности человека на окружающую среду	345
Лабораторные работы к разделу «Биология с элементами экологии».	350
Литература	363

РАЗДЕЛ I

ФИЗИКА

ГЛАВА 1. МЕХАНИКА

1.1. Кинематика точки и твердого тела

1.1.1. Кинематика точки

Механика — наука об общих законах движения тел. По характеру решаемых задач механику делят на кинематику и динамику. В кинематике изучают движения тел, не рассматривая причин, определяющих эти движения. Причины, обуславливающие движение тела, рассматриваются в динамике.

Кинематика — раздел механики, изучающий способы описания движений и устанавливающий связь между величинами, характеризующими эти движения.

Механическим движением тела называется изменение его положения в пространстве относительно других тел с течением времени.

Тело, размерами которого в данных условиях движения можно пренебречь, называют **материальной точкой**. **Телом отсчета** называется физическое тело, относительно которого задается положение данного тела (точки). Что значит «относительно»? Например, в купе вагона на столе лежит яблоко. Во время отправления поезда двух наблюдателей — пассажира и провожающего на перроне — просят ответить на вопрос, движется яблоко или нет? Пассажир отвечает: «Нет». Провожающий отвечает: «Яблоко движется».

Тело отсчета, система координат связанная с ним, и прибор для измерения времени образуют **систему отсчета**.

Положение точки можно задать двумя способами

1. С помощью координат:

- а) на плоскости с помощью *двух* координат. Из курса математики, известно, что положение точки на плоскости можно задать с помощью двух чисел, которые называются координатами этой точки. Для этого, можно на плоскости провести две

пересекающиеся взаимно перпендикулярные оси, например оси Ox и Oy . Точку пересечения осей называют *началом координат*, а сами оси — *координатными осями*;

- б) в пространстве с помощью *трех* координат. Необходимо, через выбранную точку тела отсчета провести три взаимно перпендикулярные оси Ox , Oy , Oz . В полученной системе координат положение точки будет определяться тремя координатами x , y , z .

Если число x положительно, то отрезок откладывается в положительном направлении оси Ox . Если же число x отрицательно, то отрезок откладывается в отрицательном направлении оси Ox . Из конца этого отрезка проводят прямую, параллельную оси Oy , и на этой прямой от оси Ox откладывают отрезок, соответствующий числу y , в положительном направлении оси Oy , если число y положительно, или в отрицательном направлении оси Oy , если число y отрицательно. Далее из конца другого отрезка проводят прямую, параллельную оси Oz . На этой прямой откладывают отрезок, соответствующий числу z . Направление отрезка определяют также, как и в предыдущих случаях. Конец третьего отрезка и есть та точка, положение которой задается координатами x , y , z .

2. С помощью радиуса-вектора.

Радиус-вектор — это направленный отрезок, проведенный из начала координат в данную точку. Радиус-вектор принято обозначать буквой \vec{r} . Длина радиус-вектора (его модуль) есть расстояние от начала координат до точки M .

Положение точки будет определено с помощью радиуса-вектора только в том случае, если известны его модуль и направление в пространстве.

Величины, которые задаются только числом, называются **скалярными** или скалярами (длина, ширина).

Величины, которые кроме числового значения, имеют еще и направление называются **векторными**.

Действия над векторами

1. *Сложение векторов*. Векторы складываются геометрически.

А) По правилу треугольника.

Пусть даны два вектора \vec{a} и \vec{b} . Эти векторы без изменения их направлений располагают так, чтобы начало одного вектора совпадало с концом другого. Тогда вектор \vec{c} , направленный из начала вектора \vec{a} к концу вектора \vec{b} и будет являться суммой этих векторов.

Б) По правилу параллелограмма.

Пусть даны два вектора \vec{a} и \vec{b} . Располагают оба вектора \vec{a} и \vec{b} , сохранив их длины и направления, так, чтобы они исходили из одной точки. Считая, что эти два вектора составляют две стороны параллелограмма, необходимо достроить параллелограмм и провести диагональ из точки, в которой совмещены начала векторов. Сумма векторов \vec{a} и \vec{b} изображается диагональю.

2. Вычитание векторов.

Вычесть из вектора \vec{a} вектор \vec{b} — это то же самое, что прибавить к вектору \vec{a} вектор $(-\vec{b})$.

Вычесть один вектор \vec{b} из другого \vec{a} — значит найти такой вектор \vec{c} , который в сумме с вектором \vec{b} дает вектор \vec{a} .

Допустим, что нужно найти разность двух векторов \vec{a} и \vec{b} . Перенесем эти векторы параллельно самим себе и расположим их так, чтобы они исходили из одной точки. Затем соединим их концы вектором, направленным от вычитаемого к уменьшаемому (от конца вектора \vec{b} к концу вектора \vec{a}).

Проекцией вектора \vec{a} на какую-либо ось, называется длина отрезка A_1B_1 между проекциями начала и конца вектора на эту ось, взятая со знаком «+» или «-».

Когда направление оси совпадает с направлением вектора или вектор составляет острый угол с направлением оси, тогда проекция положительна.

Проекции радиус-вектора на координатные оси равны координатам его конца.

Проекция суммы векторов на какую-либо ось равна сумме проекций слагаемых векторов на ту же ось.

Способы описания движения

1. **Координатный способ.** Если точка движется, то ее координаты изменяются с течением времени. Так как координаты точки зависят от времени, то они являются функциями времени. Математически это принято записывать в виде

$$x = x(t), \quad y = y(t), \quad z = z(t).$$

Эти уравнения называют кинематическими уравнениями движения точки, записанными в координатной форме.

2. **Векторный способ.** Положение точки можно задать и с помощью радиус-вектора. При движении точки радиус-вектор с течением вре-

мени изменяется (поворачивается и меняет длину), т.е. радиус-вектор является функцией времени: $\vec{r} = \vec{r}(t)$. Это уравнение есть уравнение движения точки, записанное в векторной форме. Задание трех скалярных кинематических уравнений равносильно заданию одного векторного уравнения.

При описании движения вводят следующие понятия.

Перемещением тела (точки) называется направленный отрезок прямой соединяющий начальное положение тела с его последующим (конечным) положением. **Путь** — это расстояние, пройденное телом вдоль траектории. **Траектория** — это линия, по которой движется тело (точка). Если траектория — прямая линия, движение точки называется прямолинейным, если кривая линия — криволинейным.

Прямолинейное равномерное движение

Прямолинейным равномерным движением называется такое движение, при котором тело за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения (проходит одинаковые пути).

Прямолинейное движение — это движение по прямой. При прямолинейном движении направление вектора скорости всегда совпадает с направлением перемещения. Скоростью равномерного прямолинейного движения называют величину, равную отношению перемещения точки к промежутку времени, в течение которого это перемещение совершено:

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}.$$

В механике рассматривают скорость как векторную величину, а это означает, что скорость можно считать известной (заданной) только в том случае, когда известны ее модуль и направление.

В системе СИ скорость выражается в м/с.

Уравнение равномерного прямолинейного движения точки

Чтобы получить уравнение равномерного прямолинейного движения точки, надо воспользоваться формулой

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}.$$

Пусть радиус-вектор \vec{r}_0 задает положение точки в начальный момент времени t_0 , а радиус-вектор \vec{r} — в любой момент времени t .

Тогда $\Delta t = t - t_0$, $\Delta \vec{r} = \vec{r} - \vec{r}_0$ и выражение для скорости примет вид

$$\vec{v} = \frac{\vec{r} - \vec{r}_0}{t - t_0}.$$

Если начальный момент времени t_0 принять равным нулю, то получим $\vec{v} = \frac{\vec{r} - \vec{r}_0}{t}$, отсюда $\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}t$.

Это векторное уравнение равномерного прямолинейного движения точки.

Вместо этого векторного уравнения можно записать три эквивалентных ему уравнения в проекциях на оси координат:

$$x = x_0 + vt, \quad y = y_0 + vt, \quad z = z_0 + vt.$$

Пример решения задачи. По дороге навстречу друг другу движутся два автомобиля: один со скоростью 60 км/ч, другой — 90 км/ч. У заправочной станции автомобили встретились и продолжили свой путь. Определите положение каждого автомобиля через 30 мин после встречи и расстояние между ними в этот момент.

Решение.

За начало координат примем заправочную станцию, а время будем отсчитывать от момента встречи автомобилей. Координатную ось X направим по направлению движения первого автомобиля. Тогда координаты автомобилей через 0,5 ч после встречи можно вычислять по формулам:

$$x_1 = x_{01} + v_{1x}t \quad \text{и} \quad x_2 = x_{02} + v_{2x}t.$$

Начальные координаты x_{01} и x_{02} у обоих автомобилей равны нулю, поэтому $x_1 = v_{1x}t$ и $x_2 = v_{2x}t$. Проекция v_{1x} первого автомобиля положительна, потому что вектор его скорости направлен так же, как ось X : $v_{1x} = 60$ км/ч.

Проекция v_{2x} отрицательна и равна $v_{2x} = -90$ км/ч.

Следовательно, $x_1 = 60$ км/ч \cdot 0,5 ч = 30 км; $x_2 = -90$ км/ч \cdot 0,5 ч = -45 км.

Расстояние между автомобилями равно разности их координат:

$$l = x_1 - x_2 = 30 \text{ км} - (-45 \text{ км}) = 75 \text{ км}.$$

Прямолинейное неравномерное движение

Неравномерное движение — это движение, при котором тело (материальная точка) за равные промежутки времени совершает неодинаковые перемещения.

Например, городской автобус движется неравномерно, так как его движение состоит в основном из разгонов и торможений.

Допустим, что некоторое тело движется прямолинейно, но неравномерно. Как найти мгновенную скорость, например в точке A его траектории (рис. 1.1).

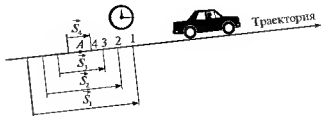


Рис. 1.1

Выделим небольшой участок I на этой траектории, включающей точку A . Малое перемещение на этом участке обозначим через \bar{S}_1 , а малый промежуток времени, в течение которого оно совершено через t_1 . Разделим \bar{S}_1 на t_1 , получим среднюю скорость на этом участке. Это именно средняя скорость, потому что скорость непрерывно изменяется, и в разных местах участка она разная. Уменьшим теперь длину участка. Выберем участок 2 , тоже включающий точку A . Перемещение теперь равно \bar{S}_2 и совершает его тело за меньший промежуток времени t_2 .

На этом участке скорость успевает измениться на меньшую величину. Но отношение $\frac{\bar{S}_2}{t_2}$ дает нам и теперь среднюю скорость на этом меньшем участке. Если продолжать уменьшать промежуток времени, за который совершается перемещение тела, то вместе с ним будет уменьшаться и перемещение. Вскоре промежуток времени станет так мал, что можно будет пренебречь изменением скорости за это время. Участок траектории, пройденный за этот совсем уже малый промежуток времени, как бы стянется в точку A , а промежуток времени — в момент времени. Средняя скорость станет мгновенной скоростью тела.

Мгновенная скорость, или скорость в данной точке, равна отношению достаточно малого перемещения на участке траектории, примыкающем к этой точке, к малому промежутку времени, в течение которого это перемещение совершается.

Мгновенной скоростью называется предел отношения перемещения точки к промежутку времени, в течение которого это перемещение произошло, при стремлении Δt к нулю:

$$\vec{v}_{\text{мгн}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \right).$$

Сложение скоростей

Пусть по реке плывет моторная лодка со скоростью v_1 относительно воды, точнее относительно системы отсчета K_1 (рис. 1.2).

Известна скорость течения реки \vec{v} относительно берега, точнее относительно системы отсчета K_2 , т.е. известна скорость системы отсчета K_1 относительно системы отсчета K_2 .

Можно определить скорость лодки \vec{v}_2 относительно берега.

Закон сложения скоростей можно получить из формулы для сложения перемещений. Так как перемещения являются векторами, то $\Delta \vec{r}_2 = \Delta \vec{r}_1 + \Delta \vec{r}$, где $\Delta \vec{r}_1$ — перемещение лодки относительно воды; $\Delta \vec{r}$ — перемещение воды относительно берега; $\Delta \vec{r}_2$ — перемещение лодки относительно берега.

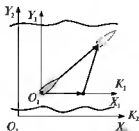


Рис. 1.2

Разделив левую и правую части уравнения на Δt , получим

$$\frac{\Delta \vec{r}_2}{\Delta t} = \frac{\Delta \vec{r}_1}{\Delta t} + \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}.$$

Отношения перемещений к интервалам времени равны скоростям, поэтому, закон сложения скоростей запишется так:

$$\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{v}.$$

Если тело движется относительно некоторой системы от K_1 со v_1 и сама система отсчета K_1 движется относительно другой системы отсчета K_2 со скоростью \vec{v} , то скорость тела относительно второй системы отсчета равна геометрической сумме скоростей \vec{v}_1 и \vec{v} .

Пример решения задачи. Скорость течения реки $v = 1,5$ м/с. Каков модуль скорости v_1 катера относительно воды, если катер движется перпендикулярно к берегу со скоростью $v_2 = 2$ м/с относительно него?

Решение.

Согласно закону сложения скоростей $\vec{v}_2 = \vec{v}_1 + \vec{v}$. Отсюда скорость катера относительно воды $\vec{v}_1 = \vec{v}_2 - \vec{v}$.

Так как полученный треугольник скоростей прямоугольный, то $v_1 = \sqrt{v_2^2 + v^2} = 2,5 \text{ м/с}$.

Равноускоренное движение

Равноускоренное (равнопеременное) движение — это такое движение тела, при котором его скорость за любые равные промежутки времени изменяется одинаково.

Ускорение

При движении любых тел их скорости обычно меняются либо по модулю, либо по направлению, или же одновременно и по модулю и по направлению.

Изменение скорости тела может происходить и очень быстро и сравнительно медленно.

Для того, чтобы уметь находить скорость в любой момент времени, необходимо ввести величину, характеризующую быстроту изменения скорости. Эту величину называют ускорением.

Ускорением точки называется величина, равная отношению изменения скорости к промежутку времени, в течение которого это изменение произошло:

$$\bar{a} = \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t}.$$

Движение с постоянным ускорением — это движение, когда модуль и направление вектора ускорения не меняются со временем.

За единицу ускорения в СИ принимается ускорение такого равноускоренного движения, при котором за 1 с скорость тела изменяется на 1 м/с. Следовательно, в СИ ускорение выражается в метрах на секунду за секунду или в метрах на секунду в квадрате (м/с^2).

Скорость при движении с постоянным ускорением

Для того, чтобы получить скорость точки при движении с постоянным ускорением, воспользуемся формулой

$$\bar{a} = \frac{\Delta \bar{v}}{\Delta t}.$$

Пусть \bar{v}_0 — скорость точки в начальный момент времени t_0 , а \bar{v} — ее скорость в любой момент времени t . Тогда $\Delta t = t - t_0$, $\Delta \bar{v} = \bar{v} - \bar{v}_0$ и формула для ускорения примет вид $\bar{a} = \frac{\bar{v} - \bar{v}_0}{t - t_0}$, если начальный момент времени t_0 принять равным нулю, то получим $\bar{a} = \frac{\bar{v} - \bar{v}_0}{t}$. Отсюда

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t.$$

Этому векторному уравнению соответствует два уравнения для проекций скорости на координатные оси Ox и Oy :

$$v_x = v_{0x} + a_x t, \quad v_y = v_{0y} + a_y t.$$

Перемещение при прямолинейном равноускоренном движении

Формулу для вычисления перемещения проще всего получить графическим методом.

При равноускоренном движении тела вдоль оси X скорость изменяется со временем согласно формуле

$$v_x = v_{0x} + a_x t.$$

Так как время в эту формулу входит в первой степени, то график для проекции скорости в зависимости от времени представляет собой прямую. Перемещение за все время t численно равно площади трапеции $OABC$ (рис. 1.3). Площадь трапеции равна произведению полусуммы ее оснований на высоту.

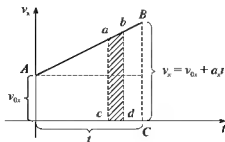


Рис. 1.3

В нашем случае длина одного из оснований численно равна v_{0x} , другого — v_x . Высота же трапеции численно равна t .

Отсюда следует, что проекция перемещения S_x выражается формулой

$$S_x = \frac{v_{0x} + v_x}{2} t,$$

так как

$$v_x = v_{0x} + a_x t, \quad \text{то} \quad S_x = \frac{v_{0x} + v_{0x} + a_x t}{2} t,$$

отсюда

$$S_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}.$$

Другая формула для перемещения:

$$S_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}.$$

Уравнения движения с постоянным ускорением

Для того, чтобы вычислить координаты x в любой момент времени для тела, движущегося равноускоренно воспользуемся формулой

$S_x = v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}$, так как $S_x = x - x_0$, получим:

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2}.$$

Аналогично для вычисления координаты y получим

$$y = y_0 + v_{0y}t + \frac{a_y t^2}{2}.$$

При движении точки в плоскости XOY этим двум уравнениям соответствует одно векторное уравнение

$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} t^2}{2}.$$

Движение тел при торможении

Движение с возрастающей по модулю скоростью называют ускоренным движением. Движение с убывающей скоростью — замедленным движением. В механике любое движение с изменяющейся скоростью называют ускоренным движением. Ускоренное движение отличается от замедленного лишь знаком проекции вектора ускорения на координатную ось. Если скорость тела с течением времени уменьшается (тело тормозится), то в какой-то момент времени скорость тела может стать равной нулю. Когда какая-то изменяющаяся величина проходит через нуль, она меняет свой знак на противоположный.

Пример решения задачи. Водитель автомобиля, движущегося со скоростью 72 км/ч, увидев красный свет светофора, нажал на тормоз. После этого скорость автомобиля стала уменьшаться на 5 м/с каждую секунду. Найдите расстояния, которые автомобиль проходит в первые 2 с после начала торможения и до полной его остановки.

Решение.

Координатную ось X направим по направлению движения автомобиля, а за начало отсчета координаты примем то место на дороге, где началось торможение. Начало отсчета времени отнесем к моменту, когда водитель нажал на тормоз.

Начальная скорость автомобиля сонаправлена с осью X , а ускорение направлено в противоположную сторону, так что проекция начальной скорости положительна, а проекция ускорения отрицательна.

Расстояния, пройденные автомобилем, — это проекции перемещения: $S_x = x - x_0$. Так как $x_0 = 0$, то нужно найти координаты x_1 и x_2 автомобиля через 2 с после начала торможения и в момент остановки. Координату x_1 (через 2 с) найдем по формуле

$$x_1 = x_0 + v_0 t - \frac{at^2}{2}, \quad x_1 = 0 + 20 \text{ м/с} \cdot 2 \text{ с} - \frac{5 \text{ м/с}^2 \cdot 4 \text{ с}^2}{2} = 30 \text{ м}.$$

Координату x_2 можно найти по следующей формуле:

$$S_x = \frac{v_x^2 - v_{0x}^2}{2a_x}.$$

Нам известны начальная и конечная скорости. Конечная скорость равна нулю (автомобиль остановился), так что

$$S_x = x_2 - x_0 = -\frac{v_{0x}^2}{2a_x},$$

значит

$$x_2 = \frac{-(20 \text{ м/с})^2}{2(-5 \text{ м/с}^2)} = 40 \text{ м}.$$

Свободное падение тел

Движение тела только под влиянием притяжения к Земле называется свободным падением. Такие движения изучал еще в конце XVI в. Галилео Галилей. Он установил, что эти движения равноускоренные, что ускорение направлено по вертикали вниз. Измерения показали, что по модулю оно равно $9,81 \text{ м/с}^2$. Это ускорение одинаково для всех тел.

Движение с постоянным ускорением свободного падения

Движение с постоянным ускорением свободного падения может быть как прямолинейным, так и криволинейным. Когда начальная скорость равна нулю, или направлена вдоль той же прямой, что и уско-

рение свободного падения, то точка движется прямолинейно вдоль этой прямой.

Движение тела под действием силы тяжести

1. Тело движется по вертикали.

Законы движения, открытые Ньютоном, и закон всемирного тяготения объясняют основные особенности свободного падения. Тело, падая, движется с ускорением потому, что на него действует сила тяжести, направленная вниз.

Ускорение падающего тела не изменится, если мы толкнем его вниз, сообщив ему начальную скорость. Только нарастание скорости начнется не от нуля, а от \vec{v}_0 . Если сообщить телу начальную скорость, направленную вверх, то это не изменит ни направления, ни численного значения ускорения тела, потому что толчок вверх не может изменить силу тяжести. В обоих случаях траектория тела — вертикальная прямая.

Формулы для вычисления координат (высот) и скоростей ничем не отличаются от формул, полученных для прямолинейного равноускоренного движения.

$$v_y = v_{0y} + g_y t, \quad h = y = y_0 + v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2}, \quad v_y^2 = v_{0y}^2 + 2g_y (h - h_0).$$

Проекция g_y положительна, если ось Y направлена вниз, и отрицательна, если она направлена вверх. Проекции v_y и v_{0y} положительны, если скорости сонаправлены с осью Y , в противном случае — отрицательны.

Пример решения задачи. Некоторое тело упало на Землю с высоты 100 м. Найдите время падения и скорость тела в момент удара о Землю (рис. 1.4).

Решение.

Время падения найдем, используя формулу

$$y = y_0 + v_{0y} t + \frac{g_y t^2}{2}.$$

Направим координатную ось Y вверх, а начало отсчета O выберем на поверхности Земли. Тогда $g_y = -g$, $v_y = -v$, $v_{0y} = 0$ (тело упало, а не брошено). В момент приземления тела $h = 0$.

$$0 = h_0 + 0 - \frac{gt^2}{2},$$

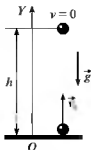


Рис. 1.4

откуда

$$t = \sqrt{\frac{2h_0}{g}}.$$

Подставив данные задачи, найдем $t = 4,5$ с.

Скорость в момент приземления вычислим по формуле

$$v_y = v_{0y} + g_y t,$$

которая в нашем случае имеет вид: $-v = 0 - gt$. Отсюда $v = gt$.

Подставив данные задачи и полученное значение времени, найдем $v = 44$ м/с.

2. Начальная скорость направлена под углом к горизонту.

Часто приходится иметь дело с движением тел, получивших начальную скорость не параллельно силе тяжести, а под некоторым углом к горизонту (к ней), например, при толкании ядра, метании диска или копья, при артиллерийской стрельбе. В этих случаях траектория движения тела представляет собой кривую, называемую параболой.

Если пренебречь влиянием воздуха на движение тела, то на тело, брошенное под углом к горизонту, как и на тело, свободно падающее, или на тело, получившее начальную скорость, направленную вертикально, действует только сила тяжести. Сила тяжести сообщает телу ускорение свободного падения, направленное вниз.

Пусть из некоторой точки O брошено тело с начальной скоростью \vec{v}_0 , направленное под углом α к горизонту. Движение тела будет криволинейным. Это движение — результат сложения двух прямолинейных движений — равномерного вдоль оси X и равнопеременного (равноускоренного) по оси Y , поэтому координата x тела с течением времени изменяется так же, как при прямолинейном равномерном движении $x = v_{0x}t$ (рис. 1.5).

Координата y изменяется так же, как при прямолинейном равноускоренном движении:

$$y = v_0 \sin \alpha t + \frac{gt^2}{2},$$

так как $v_0 \cos \alpha = v_{0x}$, то

$$y = v_0 \sin \alpha t + \frac{gt^2}{2}.$$

Из графика видно, что

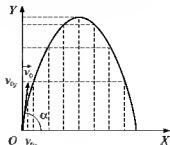


Рис. 1.5

$$v_{0y} = v_0 \sin \alpha; \quad v_{0x} = v_0 \cos \alpha.$$

Отсюда

$$x = v_0 \cos \alpha t; \quad y = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}.$$

Если направление скорости и направление ускорения свободного падения совпадают, то $y = v_0 \sin \alpha t + \frac{gt^2}{2}$, если направление скорости и ускорения свободного падения не совпадают (т.е. \vec{v}_0 направлена вверх, а \vec{g} вниз), то $y = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}$.

Пример решения задачи. Снаряд вылетел из пушки под углом α к горизонту с начальной скоростью \vec{v}_0 . Найдите: а) время полета снаряда; б) максимальную высоту подъема; в) дальность полета снаряда.

Решение.

Движение тела, брошенного под углом к горизонту, описывается формулами:

$$x = v_0 \cos \alpha t; \quad y = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}.$$

А) В конце полета снаряда координата $y = 0$.

Время полета найдем по формуле для y :

$$0 = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}.$$

Решая это квадратное уравнение относительно t , найдем $t_1 = 0$;

$$t_2 = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}.$$

Значение t_1 соответствует началу полета, а t_2 — это искомое время полета.

Б) Найдем высоту полета: время движения до высшей точки траектории вдвое меньше всего времени движения, т.е. $t_{\text{подъема}} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$.

Максимальная высота подъема — это значение координаты y , которое получится, если в выражение для координаты y вместо t подставить найденное значение времени подъема.

В формулу

$$y = v_0 \sin \alpha t - \frac{gt^2}{2}$$

подставим

$$t_{\text{подъема}} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g},$$

получим

$$h_{\text{max}} = y = \frac{1}{2} \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{g}.$$

В) Найдем дальность полета: дальность полета — это максимальное значение координаты x . В формулу для координаты x

$$x = v_0 \cos \alpha t$$

подставим вместо t время полета

$$t_{\text{полета}} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g},$$

получим

$$x = \frac{2v_0^2 \cos \alpha \sin \alpha}{g}.$$

Криволинейное движение

И в природе и в технике очень часто встречаются движения, траектории которых представляют собой не прямые, а кривые линии. Это криволинейные движения. Криволинейное движение сложнее прямолинейного. Непрерывно изменяется направление движения, т.е. направление вектора скорости, а значит, и направление вектора ускорения. Могут изменяться и модули скорости и ускорения.

Допустим, что тело движется по криволинейной траектории из точки A в точку B . Пройденный телом при этом путь — это длина дуги \overline{AB} перемещение — это вектор, направленный по хорде \overline{AB} (рис. 1.6).

Теперь нельзя сказать, что скорость всегда направлена вдоль вектора перемещения. Если провести между точками A и B ряд хорд и представить себе, что тело движется именно по ним, то на каждой из этих хорд тело движется прямолинейно и вектор скорости направлен вдоль хорды, т.е. вдоль вектора перемещения.

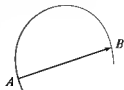


Рис. 1.6

Мгновенная скорость тела в любой точке криволинейной траектории направлена по касательной к траектории в этой точке.

Если по модулю скорость тела не изменяется, ее нельзя считать постоянной. Ведь *скорость* — величина векторная, а для векторных величин одинаково важны и модуль и направление, поэтому криволинейное движение — это всегда движение с ускорением, даже если по модулю скорость постоянна. Криволинейное движение с постоянной по модулю скоростью называется **равномерным криволинейным движением**. Движение по любой криволинейной траектории можно представить как движение по дугам окружностей. Исходя из этого задача нахождения ускорения при равномерном криволинейном движении сводится к отысканию ускорения при равномерном движении тела по окружности.

Равномерное движение по окружности

Равномерное движение по окружности — это такое движение, при котором скорость не меняется по модулю, а изменяется лишь по направлению.

Так как в процессе движения точки по окружности ускорение все время направлено по радиусу к центру, то оно непрерывно изменяется по направлению. Следовательно, равномерное движение точки по окружности является движением с переменным ускорением.

Ускорение тела равномерно движущегося по окружности в любой ее точке, центростремительное, т.е. направлено по радиусу окружности к ее центру:

$$a = \frac{v^2}{R}.$$

В СИ ускорение выражается в м/с^2 .

1.1.2. Кинематика твердого тела

В общем случае задача описания движения тел является сложной, особенно если тела заметно деформируются в процессе движения. Проще описать движение тела, взаимное расположение частей которого при движении не изменяется. Такое тело называется **абсолютно твердым телом**.

Абсолютно твердых тел нет, но в тех случаях, когда реальные тела при движении мало деформируются, их можно рассматривать как абсолютно твердые.

Рассмотрим два вида движения.

Поступательным движением называется такое движение твердого тела, при котором любая прямая проведенная в теле, перемещается параллельно самой себе.

Поступательно движутся ящик письменного стола, поршни двигателя автомобиля относительно цилиндров, вагоны на прямолинейном участке железной дороги, педали велосипеда, кабины колеса обозрения.

Вращательным движением твердого тела вокруг неподвижной оси называется такое движение, при котором все точки тела описывают окружности, центры которых находятся на одной прямой, перпендикулярной плоскостям этих окружностей. Сама эта прямая есть *ось вращения*. В технике такой вид движения встречается очень часто: вращение валов двигателей и генераторов, колес электропоездов, турбин, пропеллеров самолетов.

Угловая скорость

Каждая точка вращающегося тела движется по окружности, и различные точки проходят за время Δt разные пути. Радиусы окружностей поворачиваются за время Δt на один и тот же угол φ .

Угловой скоростью при равномерном вращении называется величина, равная отношению угла φ поворота тела к промежутку времени Δt , за который этот поворот произошел. Обозначают угловую скорость греческой буквой омега (ω):

$$\omega = \frac{\varphi}{\Delta t}.$$

Угловая скорость выражается в **радианах в секунду (рад/с)**.

Частота вращения обозначается греческой буквой ню (ν) — это число полных оборотов за 1 с: $\nu = \frac{1}{T}$.

Период обращения T — промежуток времени, за который тело совершает один полный оборот $T = \frac{1}{\nu}$. Период T выражается в **секундах (с)**.

Частота выражается в **герцах (Гц)**: $1 \text{ Гц} = \frac{1}{\text{с}} = \text{с}^{-1}$.

Угловую скорость можно выразить через частоту вращения.

Полному обороту тела соответствует угол $\varphi = 2\pi$.

Тогда

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu.$$

Связь между линейной и угловой скоростями

Линейной скоростью называется скорость точки, движущейся по окружности.

При вращении твердого тела угловая скорость одинакова, а линейная скорость различна. Точка, лежащая на окружности радиуса R , за один оборот пройдет путь $2\pi R$. Поскольку время одного оборота тела есть период, то

$$v = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R\nu,$$

так как $\omega = 2\pi R\nu$, $v = \omega R$. Из формулы видно, что чем дальше расположена точка от оси вращения, тем больше скорость.

Модуль ускорения точки, движущейся равномерно по окружности, можно выразить через угловую скорость тела и радиус окружности:

$$a = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R.$$

Пример решения задачи. Два шкива соединены ременной передачей, передающей вращение от одного шкива к другому. Ведущий шкив вращается с частотой $\nu_1 = 3000$ об./мин, ведомый шкив — с частотой $\nu_2 = 600$ об./мин. Ведомый шкив имеет диаметр $D_2 = 500$ мм. Какой диаметр D_1 имеет ведущий шкив?

Решение.

Ведущий шкив вращается с угловой скоростью $\omega_1 = 2\pi\nu_1$, а ведомый — со скоростью $\omega_2 = 2\pi\nu_2$. Скорость приводного ремня равна линейной скорости точек окружностей того и другого шкива:

$$v_1 = \omega_1 R_1 = 2\pi\nu_1 R_1 = D_1 \pi \nu_1, \quad v_2 = \omega_2 R_2 = 2\pi\nu_2 R_2 = D_2 \pi \nu_2.$$

Отсюда $\frac{D_1}{D_2} = \frac{\nu_2}{\nu_1}$, следовательно,

$$D_1 = D_2 \frac{\nu_2}{\nu_1}, \quad D_1 = 100 \text{ мм.}$$

Контрольные вопросы и задания

1. Что изучает кинематика?
2. Что такое механическое движение?
3. Что такое тело отсчета, система отсчета?
4. Дайте понятие «материальной точки».
5. Сколькими способами можно задать положение точки?

6. Что такое скаляр и вектор?
7. Что называется проекцией вектора?
8. Перечислите способы описания движений.
9. Дайте понятия траектории, пути, перемещения.
10. Что такое равномерное прямолинейное движение?

Задачи.

1. Точка движется равномерно и прямолинейно противоположно положительному направлению оси OX . В начальный момент времени точка имела координату $x_0 = 12$ м. Найдите координату точки спустя 6 с от начала отсчета времени, если модуль ее скорости равен $v = 3$ м/с. Чему равен путь, пройденный точкой за это время?

2. Тело движется вдоль координатной оси OX . Направления начальной скорости и ускорения совпадают с положительным направлением оси, а их модули равны $v_0 = 4$ м/с, а $a = 2$ м/с². Найдите скорость через 4 с от начала отсчета времени.

1.2. Динамика

1.2.1. Динамика. Законы механики Ньютона

Динамика — это раздел механики, устанавливающий причины возникновения движения.

Изменение скорости тела (ускорение) всегда вызывается воздействием на данное тело каких-либо тел. Эта фраза содержит главное утверждение механики Ньютона и выражает *принцип причинности в механике*.

Например, на столе лежит книга, ее ускорение равно нулю, хотя на книгу действуют притяжение Земли и стол, не дающий ей падать вниз. В этом случае говорят, что действия уравновешивают (компенсируют) друг друга.

Книга никогда не получит ускорение, если на нее не подействовать рукой, сильной струей воздуха или еще каким-нибудь способом.

Системы отсчета, относительно которых тела движутся с постоянной скоростью при компенсации внешних воздействий на них, называются **инерциальными**.

Системы отсчета, движущиеся относительно инерциальной системы с ускорением называются **неинерциальными**.

Законы Ньютона относятся к точке обладающей массой — материальной точке.

Первый закон Ньютона

Существуют такие системы отсчета, относительно которых поступательно движущееся тело сохраняет свою скорость постоянной, если на него не действуют другие тела (или действия других тел компенсируются).

Явление сохранения скорости постоянной называется **инерцией**.

Первый закон Ньютона называется *законом инерции*.

Количественную меру действия тел друг на друга, в результате которого тела получают ускорения, называют в механике **силой**. Сила — векторная величина.

На практике для измерения сил применяют динамометр. Сила выражается в **ньютон**ах (Н).

Инертность и масса тела

Когда тело движется без ускорения, говорят, что оно движется «по инерции». О теле, которое при взаимодействии изменило свою скорость на меньшее значение, говорят, что оно более инертно, чем другое тело, скорость которого изменилась на большее значение. Из двух взаимодействующих тел то из них менее инертно, которое за время взаимодействия больше изменило свою скорость.

Свойство инертности, присущее всем телам, заключается в том, что для изменения скорости тела требуется некоторое время. Из двух взаимодействующих тел, то тело более инертно, которое медленнее изменяет свою скорость. Например, на тонкой нити подвешен груз. Снизу к нему прикреплена другая такая же нить. Если резко дернуть за нижнюю нить, то она обрывается, а груз остается висеть на верхней нити. Если нижнюю нить не дергать, а медленно тянуть, то оборвется верхняя нить и груз упадет. Это объясняется тем, что когда нижнюю нить резко дергают, то время взаимодействия руки и нити настолько мало, что груз не успевает изменить свою скорость и верхняя нить не обрывается: у груза велика инертность.

Свойство инертности характеризуется особой величиной — массой.

То из двух взаимодействующих тел, которое получает меньшее по модулю ускорение, т.е. более инертно, имеет и большую массу. Второе тело, менее инертное, имеет меньшую массу. *Масса тела — эта мера его инертности*.

Масса — основная динамическая характеристика тела, количественная мера его инертности, т.е. способности тела приобретать определенное ускорение под действием силы.

Отношение модулей ускорений двух взаимодействующих тел равно обратному отношению их масс

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{m_2}{m_1}.$$

За единицу массы международным соглашением принята масса эталона — специально изготовленного цилиндра из сплава платины и иридия. Единицей массы называется **килограмм (кг)**. Удобным способом измерения массы является взвешивание. Однако массы планет или массы атомов и молекул определяют по ускорениям при их взаимодействии.

Второй закон Ньютона

Сила, действующая на тело, равна произведению массы тела на сообщаемое этой силой ускорение:

$$\vec{F} = m\vec{a}.$$

Третий закон Ньютона

Тела действуют друг на друга с силами равными по модулю и противоположными по направлению:

$$\vec{F}_A = -\vec{F}_B.$$

Третий закон Ньютона показывает, что из-за взаимного действия тел друг на друга силы всегда появляются парами. Если на какое-то тело действует сила, то обязательно есть какое-то другое тело, на которое первое тело действует с такой же силой, но направленной в противоположную сторону.

Принцип относительности в механике (принцип относительности Галилея): все механические процессы протекают одинаково во всех инерциальных системах отсчета.

1.2.2. Силы в природе

Действие одного тела на другое, в результате которого тела получают ускорение, называют силой. Сила — физическая величина, которая может быть выражена как числом, так и вектором. Сила, равная геометрической сумме всех приложенных к телу (точке) сил, называется равнодействующей или результирующей силой. За единицу силы принимается сила, сообщаящая телу массой 1 кг ускорение 1 м/с². Эта единица силы называется **ньютон**: 1 Н = 1 кг · м/с².

Существует четыре *типа взаимодействий (сил)*:

- 1) гравитационные силы, и силы всемирного тяготения, действующие между всеми телами;
- 2) электромагнитные силы действуют между частицами, имеющими электрические заряды.
- 3) ядерные силы сильного взаимодействия — внутри атомных ядер. Область действия ограничена. Заметны на расстояниях порядка 10^{-12} см;
- 4) ядерные силы слабого взаимодействия. Проявляются на еще меньших расстояниях.

Сила всемирного тяготения

В 1667 году Исаак Ньютон высказал предположение, что между всеми телами действуют силы взаимного притяжения. Их называют силами всемирного тяготения или гравитационными силами. Одно из проявлений силы всемирного тяготения — сила притяжения тела к Земле, называемая *силой тяжести*. Она направлена по нормали к поверхности Земли, т.е. вниз.

Закон всемирного тяготения

Тела притягиваются друг к другу с силой, модуль которой пропорционален произведению их масс, и обратно пропорционален квадрату расстояния между ними:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2},$$

где R — расстояние между телами, G — коэффициент пропорциональности, гравитационная постоянная (постоянная всемирного тяготения):

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \frac{\text{М}^2}{\text{кг}^2}.$$

Первая космическая скорость

Это такая скорость, которую надо сообщить искусственному спутнику Земли, чтобы он двигался по круговой орбите на высоте h над Землей.

Искусственный спутник движется равномерно по окружности, значит его ускорение центростремительное и по модулю равно

$$a = \frac{v^2}{R_3 + h}.$$

Это ускорение телу сообщает сила притяжения к Земле; ее модуль равен

$$F = G \frac{M_3 m_1}{(R_3 + h)^2},$$

где M_3 — масса Земли; m_1 — масса тела; R_3 — радиус Земли; h — высота тела над поверхностью Земли.

По второму закону Ньютона $F = ma$, так как a — центростремительное, то

$$F = m \frac{v^2}{R_3 + h},$$

а по закону всемирного тяготения

$$F = G \frac{M_3 m_1}{(R_3 + h)^2}.$$

Левые части уравнений равны, приравняем правые части и решим уравнение. Получим:

$$v = \sqrt{G \frac{M_3}{R_3 + h}}.$$

Вычислим первую космическую скорость для ИСЗ, запускаемого вблизи поверхности Земли ($h \approx 0$):

$$v = \sqrt{G \frac{M_3}{R_3}}, \quad \text{а} \quad G \frac{M_3}{R_3^2} = g,$$

тогда

$$v = \sqrt{gR_3}.$$

Скорость спутника зависит от его высоты над поверхностью Земли. Чем больше высота, тем с меньшей скоростью он будет двигаться по круговой орбите:

$$v_1 = 8 \text{ км/с.}$$

Вес тела

Вес тела — это сила, с которой тело, вследствие его притяжения к Земле, действует на опору или подвес:

$$\vec{P} = m\vec{g}.$$

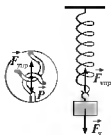


Рис. 1.7

Рассмотрим тело, подвешенное к пружине (рис. 1.7), другой конец которой закреплен. На тело действует сила тяжести, направленная вниз. Тело поэтому начинает падать, увлекая за собой нижний конец пружины. Пружина деформируется и появится *сила упругости пружины*. Она приложена к верхнему краю тела и направлена вверх. Тело тоже деформируется. Возникает еще одна сила упругости — *сила упругости деформированного тела*. Она приложена к пружине и направлена вниз. Эта сила и есть **вес тела**.

Всякое тело, на которое действует только сила тяжести, находится в состоянии невесомости (например, пловец, прыгающий с вышки).

Вес тела, движущегося с ускорением

Если тело вместе с опорой или подвесом движется с ускорением, которое направлено так же как и ускорение свободного падения, то его вес меньше веса покоящегося тела:

$$\bar{P} = m(\bar{g} - \bar{a}).$$

Если тело вместе с опорой или подвесом движется с ускорением, направленным противоположно ускорению свободного падения, то его вес больше веса покоящегося тела:

$$\bar{P} = m(\bar{g} + \bar{a}).$$

Увеличение веса, вызванное его ускоренным движением, называется *перегрузкой*.

Сила упругости

Сила упругости — это сила, восстанавливающая то состояние, которое было до сжатия или растяжения. Она направлена в сторону, противоположную направлению смещения. Сила упругости возникает при деформации. Под деформацией понимают изменение объема или формы тела.

Закон Гука

Сила упругости, возникающая при деформации тела, пропорциональна удлинению тела и направлена противоположно направлению смещения частиц тела относительно других частиц при деформации:

$$(F_{\text{уп}})_x = -kx,$$

где x — удлинение тела (пружины), выражается в **метрах (м)**; k — коэффициент пропорциональности, называемый жесткостью тела.

Жесткость зависит от размеров стержня и от материала, из которого он изготовлен. Так как $k = \frac{(F_{\text{уп}})_x}{x}$ то **жесткость** выражается в **ньютоннах на метр (Н/м)**.

Силу упругости, действующую на тело со стороны опоры или подвеса, называют *силой реакции опоры* \vec{N} . Она направлена перпендикулярно поверхности соприкосновения тел.

Сила трения

Сила трения возникает при непосредственном соприкосновении тел и всегда направлена вдоль поверхности соприкосновения. Направление силы трения противоположно направлению движения. Силу трения, действующую между двумя телами, неподвижными относительно друг друга, называют *силой трения покоя*.

Наибольшее значение силы трения, при котором скольжение еще не наступает, называется максимальной силой трения покоя.

Трение между соприкасающимися твердыми телами (без смазки) называется *сухим трением*.

Когда твердое тело движется, соприкасаясь с жидкостью или газом, возникает сила *жидкого трения*.

Если сила, приложенная к телу параллельно поверхности соприкосновения его с другим телом, хотя бы немного превосходит максимальную силу трения покоя, тело получает ускорение и начинает скользить по поверхности другого тела. Но и теперь действует сила трения, называемая *силой трения скольжения*.

\vec{N} — сила реакции опоры (сила упругости, приложенная к опоре или подвесу); $N = mg$.

Сила трения скольжения пропорциональна силе реакции опоры (силе нормального давления):

$$F_{\text{тр}} = \mu N,$$

где μ — коэффициент трения. Он зависит от материалов трущихся поверхностей и от качества их обработки.

Если на тело действует только сила трения, то тело в конце концов остановится.

Сила трения приводит к уменьшению числового значения скорости тела.

При воздействии силы торможения до полной остановки тело пройдет тормозной путь. Он равен $l = \frac{mv_0^2}{2F_{\text{тр}}}$. Время от начала торможения

до остановки равно $t = \frac{mv_0}{F_{\text{тр}}}$.

Пример решения задачи. По наклонной плоскости с углом наклона α движется брусок массой m (рис. 1.8). Коэффициент трения бруска о плоскость μ . Найдите ускорение a бруска.

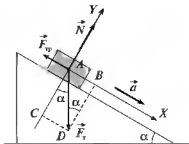


Рис. 1.8

Решение.

Для упрощения на рисунке все три силы отображены приложенными к центру бруска.

В действительности сила трения и сила реакции опоры приложены к основанию бруска.

I. На брусок действуют три силы: 1) сила тяжести \vec{F}_r , направленная вниз; 2) сила трения $\vec{F}_{\text{тр}}$, направленная вдоль поверхности соприкосновения, в сторону противоположную движению; 3) сила реакции опоры \vec{N} , направленная перпендикулярно поверхности соприкосновения.

Вместе эти силы сообщают бруску ускорение, направленное вдоль плоскости вниз.

II. Направим оси координат X и Y (ось X направляем в сторону направления ускорения, а ось Y вверх).

Второй закон Ньютона в векторной форме записывается так:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\text{тр}}.$$

Необходимо записать второй закон Ньютона в скалярной форме для проекций входящих в него векторов на оси X и Y .

III. Проекция векторов на ось X.

1. Проекция a_x положительна и равна модулю вектора $\vec{a} \cdot a_x = a$.

2. Найдем проекцию $(F_T)_x$, для этого из конца вектора \vec{F}_T опустим перпендикуляр на ось X.

Рассмотрим прямоугольный треугольник $\triangle ABD$: $\sin \alpha = \frac{AB}{AD}$,
 $AB = (F_T)_x$, $AD = F_T$.

Следовательно, $\sin \alpha = \frac{(F_T)_x}{F_T}$, откуда следует $(F_T)_x = F_T \sin \alpha = mg \sin \alpha$.

3. Проекция $(F_{тр})_x$ отрицательна и равна $(F_{тр})_x = -F_{тр}$.

4. Проекция N_x вектора \vec{N} равна нулю: $N_x = 0$.

Запишем уравнение второго закона Ньютона в скалярной форме для проекций векторов на ось X:

$$ma = mg \sin \alpha - F_{тр} \quad (1)$$

IV. Проекция векторов на ось Y.

1. Так как вектор ускорения \vec{a} перпендикулярен оси Y, то его проекция на эту ось равна нулю: $a_y = 0$.

2. $(F_T)_y$ отрицательна (так как лежит ниже оси X).

Из треугольника $\triangle ADC$: $\cos \alpha = \frac{AC}{AD}$, так как $AC = (F_T)_y$, $AD = F_T$, то
 $\cos \alpha = \frac{(F_T)_y}{F_T}$.

Отсюда следует, что

$$(F_T)_y = -mg \cos \alpha.$$

3. $(F_{тр})_y = 0$.

4. $N_y = N$.

Запишем уравнение второго закона Ньютона в скалярной форме для проекций векторов на ось Y: $0 = N - mg \cos \alpha$, откуда $N = mg \cos \alpha$.

Известно, что $F_{тр} = \mu N$, значит

$$F_{тр} = \mu mg \cos \alpha. \quad (2)$$

V. Подставим выражение (2) в формулу (1), получим

$$a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha).$$

Ответ:

$$a = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha).$$

Центр тяжести

Точка, через которую должна проходить линия действия силы, чтобы тело двигалось поступательно, называется *центром тяжести* или *центром масс тела*. Любая же сила, линия действия которой не проходит через центр тяжести (черные прямые на рисунке), вызывает поворот или вращение.

Контрольные вопросы и задания

1. Что изучает динамика?
2. Какие системы отсчета называются инерциальными?
3. Какие системы отсчета называются неинерциальными?
4. Сформулируйте первый закон Ньютона.
5. Сформулируйте второй и третий законы Ньютона.
6. Что такое сила?
7. Что такое сила тяжести? Сформулируйте закон всемирного тяготения.
8. Что такое вес тела? Вес тела, движущегося с ускорением?
9. Что такое сила упругости? Сформулируйте закон Гука.
10. Что такое сила трения, чему она равна?

Задачи.

1. Радиус Луны R_1 приблизительно в 3,7 раза меньше, чем радиус Земли R , а масса Луны m_1 в 81 раз меньше массы Земли M . Каково ускорение свободного падения тел на поверхности Луны?

2. Груз массой 97 кг перемещают равномерно по горизонтальной поверхности при помощи веревки, образующей угол 30° с горизонтом. Найдите силу натяжения веревки, если коэффициент трения равен 0,2.

1.3. Законы сохранения в механике

1.3.1. Закон сохранения импульса

Введем новую физическую величину — импульс материальной точки (тела):

$$\vec{F} = m\vec{a}; \quad \vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t}.$$

Используя эти две формулы, получим $\vec{F}\Delta t = m\vec{v}_2 + m\vec{v}_1$.

Импульсом материальной точки называется величина, равная произведению массы точки, на ее скорость:

$$\vec{P} = m\vec{v};$$

$$1 \text{ ед. импульса} = 1 \text{ кг} \cdot 1 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 1 \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}.$$

Импульс называют иногда количеством движения. Импульс — векторная величина, имеющая такое же направление, что и скорость.

Изменение импульса точки равно импульсу силы, действующей на нее:

$$\Delta \vec{p} = \vec{F}t.$$

Изменение импульса материальной точки пропорционально приложенной к ней силе и имеет такое же направление, что и сила.

Произведение силы на время ее действия называют **импульсом силы**.

Закон сохранения импульса

Геометрическая сумма импульсов тел, составляющих замкнутую систему, остается постоянной при любых движениях и взаимодействиях тел системы.

$$\vec{P}_{\text{сист}} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = \text{const.}$$

(Если сумма внешних сил равна нулю, то импульс системы сохраняется.)

Импульс системы могут изменить только внешние силы, причем изменение импульса системы $\Delta \vec{P}_{\text{сист}}$ совпадает по направлению с суммарной внешней силой. Внутренние силы изменяют импульсы отдельных тел системы, но изменить суммарный импульс системы они не могут.

Реактивное движение

Большое значение закон сохранения импульса имеет для исследования реактивного движения. Под реактивным движением понимается движение тела, возникающее при отделении некоторой его части с определенной скоростью относительно тела, например при истечении продуктов сгорания из сопла реактивного летательного аппарата. При этом появляется так называемая **реактивная сила**, толкающая тело.

Наблюдать реактивное движение очень просто. Надуйте детский резиновый шарик и отпустите его. Шарик стремительно взлетит вверх.

Движение будет кратковременным. Реактивная сила действует лишь до тех пор, пока продолжается истечение воздуха. Главная особенность реактивной силы: она возникает без какого-либо взаимодействия с внешними телами. Происходит лишь взаимодействие между ракетой и вытекающей из нее струей вещества.

При истечении продуктов сгорания топлива они за счет давления в камере сгорания получают некоторую скорость относительно ракеты и, следовательно, некоторый импульс, поэтому в соответствии с законом сохранения импульса сама ракета получает такой же по модулю импульс, но направленный в противоположную сторону.

Масса ракеты с течением времени убывает, поэтому для расчета ее движения нельзя применять второй закон Ньютона, а можно применять закон сохранения импульса.

Пример решения задачи. Два шара массами $m_1 = 0,5$ кг и $m_2 = 0,2$ кг движутся по гладкой горизонтальной поверхности навстречу друг другу со скоростями $v_1 = 1$ м/с и $v_2 = 4$ м/с. Найдите их скорость после центрального абсолютно неупругого удара.

Решение.

Абсолютно неупругим называется такое столкновение, после которого оба сталкивающихся тела движутся как единое целое и тем самым приобретают одинаковые скорости. Ось Ox направим вдоль линии, проходящей через центры движущихся шаров по направлению скорости \vec{v}_1 . Так как вдоль оси Ox силы не действуют (трения нет), то сумма проекций импульсов на эту ось сохраняется:

$$m_1 v_{1x} + m_2 v_{2x} = (m_1 + m_2) v_x.$$

После неупругого удара шары движутся с одной и той же скоростью.

Так как $v_{1x} = v_1$, а $v_{2x} = -v_2$, то

$$v_x = \frac{m_1 v_1 - m_2 v_2}{m_1 + m_2} = -0,4 \text{ м/с.}$$

После удара шары будут двигаться в отрицательном направлении оси Ox со скоростью 0,4 м/с.

1.3.2. Закон сохранения энергии

Энергия — самая важная сохраняющаяся величина в физике. Понять, что такое энергия, нелегко, но энергия тесно связана с работой. Начнем с изучения работы силы.

Когда на тело действует постоянная сила и тело совершает в направлении действия силы перемещение, то говорят, что сила совершает работу, равную произведению модулей силы и перемещения: $A = FS$.

За единицу работы принимают работу совершаемую силой в 1 Н на пути, равном 1 м: 1 Дж = 1 Н · 1 м.

Джоуль — это работа, совершаемая силой 1 Н на перемещении 1 м, если направления силы и перемещения совпадают.

Как вычислить работу, которую совершает сила \vec{F} , если перемещение санок равно \vec{s} ? Для этого формулу для работы нужно записать в таком виде:

$$A = F s \cos \alpha,$$

где α — угол между векторами силы и перемещения.

Работа постоянной силы равна произведению модулей векторов силы и перемещения на косинус угла между этими векторами. Направление силы, приложенной к телу, может быть и перпендикулярно направлению перемещения тела. В этом случае угол $\alpha = 90^\circ$, $\cos 90^\circ = 0$, и работа силы будет равна нулю.

Мощность

Наряду с работой вводят величину, характеризующую быстроту, с которой она производится. **Мощностью** называется отношение работы A к интервалу времени t , за который эта работа совершена. Мощность численно равна работе, совершенной в единицу времени:

$$N = \frac{A}{\Delta t}.$$

В СИ мощность выражается в **ваттах (Вт)**. Мощность равна 1 Вт, если работа 1 Дж совершается за 1 с. Если тело или система тел могут совершать работу, то говорят, что они обладают энергией.

Кинетической энергией называется величина, равная половине произведения массы на квадрат скорости тела:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

Энергия измеряется в тех же единицах, что и работа.

Изменение кинетической энергии тела за некоторый промежуток времени равно работе, совершенной за это же время силой, действующей на тело:

$$A = E_{k2} - E_{k1} = \Delta E_k.$$

Величину равную произведению массы тела на ускорение свободного падения и на высоту тела над поверхностью Земли называют **потенциальной энергией взаимодействия тела и Земли**:

$$E_p = mgh.$$

Величину, равную половине произведения коэффициента упругости на квадрат деформации, называют **потенциальной энергией упругого деформированного тела**:

$$E_p = \frac{k\Delta x^2}{2}.$$

Закон сохранения энергии

В замкнутой системе, в которой действуют консервативные силы, механическая энергия сохраняется.

Силы, равные по модулю и противоположные по направлению называются консервативными.

Величину, равную сумме кинетической и потенциальной энергий системы, называют механической энергией системы:

$$E_k + E_p = \text{const.}$$

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое импульс тела, импульс силы?
2. Сформулируйте закон сохранения импульса.
3. Введите понятие работы силы. Что такое мощность?
4. Чему равны кинетическая и потенциальная энергии?
5. Сформулируйте закон сохранения энергии.

Задачи.

1. Масса футбольного мяча в 3 раза больше, а скорость в 3 раза меньше хоккейной шайбы. Сравните их кинетические энергии?

2. Найти импульс грузового автомобиля массой 10 т, движущегося со скоростью 36 км/ч, и легкового автомобиля массой 1 т, движущегося со скоростью 25 м/с.

1.4. Механические колебания и волны

1.4.1. Механические колебания

Движение, при котором тело поочередно смещается то в одну, то в другую сторону, называется колебанием.

Маятником называют подвешенное на нити тело, которое может совершать колебания под действием силы тяжести.

Колебания — это движения, которые повторяются через определенные интервалы времени.

Внутренними силами называют силы, действующие между телами системы.

Внешними силами называют силы, действующие на тела системы со стороны тел, не входящих в нее.

Свободными колебаниями называются колебания в системе под действием внутренних сил, после того как система выведена из положения равновесия.

Вынужденными колебаниями называются колебания тел под действием внешних периодически изменяющихся сил.

При колебательном движении происходит превращение кинетической энергии в потенциальную и обратно. В любой точке между положениями равновесия и максимального отклонения тело обладает и кинетической энергией, и потенциальной, но их сумма, т.е. полная

энергия в любом положении тела, равна $\frac{kA^2}{2}$.

Полная механическая энергия колеблющегося тела пропорциональна квадрату амплитуды его колебаний:

$$W = \frac{kA^2}{2}.$$

Условия возникновения свободных колебаний

1. При выведении тела из положения равновесия в системе должна возникать сила, направленная к положению равновесия.

2. Трение в системе должно быть достаточно мало.

Математический маятник — это модель материальной точки, подвешенной на нерастяжимой невесомой нити.

Динамика колебательного движения

Уравнение движения тела, колеблющегося под действием силы упругости:

$$a_x = -\frac{k}{m}x.$$

Проекция ускорения тела прямо пропорциональна его координате x , взятой с противоположным знаком.

Уравнение движения математического маятника:

$$a_{\tau} = -\frac{g}{l}s,$$

где S — длина дуги; l — длина нити.

Уравнения движения, описывающие колебания таких различных систем, как шарик на пружине и маятник, одинаковы.

Периодические изменения физической величины в зависимости от времени, происходящие по закону синуса или косинуса, называются **гармоническими**.

Амплитудой гармонических колебаний называется модуль наибольшего смещения тела от положения равновесия.

Периодом колебания называют минимальный промежуток времени T , через который движение тела полностью повторяется:

$$T = \frac{1}{\nu}.$$

Единицей периода является секунда (с).

Частота колебаний — число колебаний в единицу времени:

$$\nu = \frac{1}{T}.$$

В СИ единицей частоты называется **герц (Гц)**.

Циклическая (круговая) частота ω_0 — число колебаний тела за 2π секунд

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu.$$

Собственная частота колебательной системы — частота свободных колебаний.

Зависимость частоты и периода свободных колебаний от свойств системы

Собственная частота колебаний тела, прикрепленного к пружине:

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu;$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Собственная частота колебаний математического маятника:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}; \quad T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}.$$

Эта формула была получена Голландским ученым Г. Гюйгенсом.

Величину φ , стоящую под знаком косинуса или синуса, называют **фазой колебаний**, описываемой этой функцией.

Так как

$$\omega_0 = \frac{2\pi}{T},$$

то

$$\varphi = \omega_0 t = 2\pi \frac{t}{T}.$$

Любому значению времени, выраженному в долях периода, соответствует значение фазы, выраженное в радианах.

Колебания при наличии сил сопротивления являются затухающими.

Вынужденные колебания (незатухающие) возникают, когда на систему воздействуют внешней периодической силой.

Резонанс — резкое возрастание амплитуды вынужденных колебаний при совпадении частоты изменения внешней силы, действующей на систему, с частотой свободных колебаний: ω_0 — частота собственных колеб ω — частота вынужденных колебаний.

1.4.2. Механические волны

Волной называют колебания, распространяющиеся в пространстве с течением времени.

Волны представляются бегущими вперед округлыми валами. Расстояние между валами или гребнями примерно одинаково. При распространении волны происходит перемещение определенного состояния колеблющейся среды, но не перенос вещества. Важной характеристикой волны является ее скорость. Она конечна.

Поперечной называется волна, при распространении которой отдельные ее участки совершают колебания в направлении, перпендикулярном направлению распространения волны.

Продольной волной называется такая волна, колебания которой происходят вдоль направления распространения волны.

При распространении механической волны движение передается от одного участка тела к другому. С передачей движения связана передача энергии.

Энергия равна сумме кинетической энергии движения участков шнура и потенциальной энергии его упругой деформации.

При уменьшении амплитуды колебаний при распространении волны связано с превращением части механической энергии во внутреннюю.

Длиной волны λ (обозначается греческой буквой лямбдой) называется расстояние между ближайшими друг к другу точками, колеблющимися в одинаковых фазах. **Скорость волны** (v) равна произведению длины волны на частоту колебаний (обозначается греческой буквой ню):

$$v = \lambda \nu.$$

Уравнение бегущей волны

Рассмотрим волну, бегущую по длинному тонкому резиновому шнуру.

Ось Ox направим вдоль шнура, а начало отсчета свяжем с левым концом шнура. S — смещение точки от положения равновесия.

Для описания волнового процесса нужно знать смещение любой точки шнура в любой момент времени: $S = S(x, t)$.

Колебания этой точки будут происходить по закону $S = S_m \sin \omega t$.

Колебания распространяются вдоль шнура со скоростью v и в произвольную точку шнура придут спустя время $\tau = \frac{x}{v}$.

Эта точка начнет также совершать гармонические колебания с частотой ω , но с запаздыванием на время t . Колебания в точке будут происходить с той же амплитудой S_m , но с другой фазой:

$$S = S_m \sin[\omega(t - \tau)] = S_m \sin\left[\omega\left(t - \frac{x}{v}\right)\right].$$

Примеры решения задач

Задача 1. Сколько колебаний совершает математический маятник длиной 4,9 м за время $t = 5$ мин?

Решение.

Период колебания определяется по формуле $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$.

Искомое число колебаний находится так: $n = \frac{t}{T} = \frac{t}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}} = 68$.

Задача 2. На горизонтальном стержне находится груз, прикрепленный к пружине. Другой конец пружины закреплен. В некоторый начальный момент времени груз смещают от положения равновесия на $x_m = 10$ см и отпускают. Определите координату груза спустя

$\frac{1}{8}$ периода колебаний после указанного начального момента (трение не учитывать).

Решение.

Зависимость координаты груза от времени выражается так: $x = x_m \cos \omega_0 t$. Так как $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$ и $t = \frac{T}{8}$, то

$$x = x_m \cos \left(\frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{8} \right) = x_m \cos \frac{\pi}{4} = 0,071 \text{ м.}$$

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое колебание?
2. Какие колебания называются свободными?
3. Какие колебания называются вынужденными?
4. Что такое математический маятник?
5. Какие уравнения колебательного движения вы знаете?
6. Что представляют собой гармонические колебания?
7. Что такое амплитуда гармонических колебаний, период и частота?

Задачи.

1. Груз массой 100 г совершает колебания с частотой 2 Гц под действием пружины. Найдите жесткость пружины.
2. Один из маятников совершил $n_1 = 10$ колебаний. Другой за это же время совершил $n_2 = 6$ колебаний. Разность длин маятников $\Delta l = 16$ см. Найдите длины маятников.

ГЛАВА 2. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

2.1. Молекулярная физика и тепловые явления

2.1.1. Основные положения молекулярно-кинетической теории. Молекулы и атомы

Молекулы — мельчайшие частицы вещества, состав которых и химические свойства такие же, как у данного вещества. Атомы — это мельчайшие химически неделимые частицы, из которых состоят молекулы.

Основные положения МКТ

В основе МКТ строения вещества лежат три утверждения: 1) вещество состоит из частиц; 2) эти частицы беспорядочно движутся; 3) частицы взаимодействуют друг с другом.

Относительной молекулярной (или атомной) массой вещества M_r называют отношение массы молекулы (или атома) m_0 данного вещества к $1/12$ массы атома углерода m_0C :

$$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12}m_0C}$$

Например, $M_r(\text{CO}_2) = 44$.

$$M_r(\text{C}) = 12; \quad M_r(\text{O}) = 16; \quad M_r(\text{CO}_2) = 12 + 16 \cdot 2 = 44.$$

Количество вещества ν — это число молекул (атомов) в теле. Количество вещества выражается в **молях**. Один моль — это количество вещества, в котором содержится столько же молекул или атомов, сколько атомов содержится в углероде массой 0,012 кг.

Значит, в 1 моль любого вещества содержится одно и то же число атомов или молекул. Это число атомов обозначают N_A и называют **постоянной Авогадро**:

$$N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

Количество вещества ν равно отношению числа молекул N в данном теле к постоянной Авогадро N_A , т.е. к числу молекул в 1 моле вещества:

$$\nu = \frac{N}{N_A}$$

Молярной массой вещества M называют массу вещества, взятого в количестве одного моля:

$$M = m_0 N_A; \quad M \approx M_r \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}; \quad m = m_0 N,$$

где m — масса количества вещества, m_0 — масса одной молекулы.

Количество вещества¹ равно отношению массы вещества к его молярной массе

$$\nu = \frac{m}{M}; \quad N = \nu N_A = \frac{m}{M} N_A.$$

Броуновское движение — это тепловое движение взвешенных в жидкости (или газе) частиц. Причина броуновского движения частицы заключается в том, что удары молекул жидкости о частицу не компенсируют друг друга.

На очень малых расстояниях между молекулами действуют силы отталкивания. На расстояниях превышающих 2—3 диаметра молекул, действуют силы притяжения.

Идеальный газ — модель реального газа. Идеальный газ — это газ, взаимодействие, между молекулами которого пренебрежимо мало.

Давление идеального газа пропорционально произведению концентрации молекул на среднюю кинетическую энергию поступательного движения молекулы:

$$p = \frac{2}{3} n \cdot \bar{E}.$$

(Это основное уравнение молекулярно-кинетической теории.)

Зависимость давления газа от концентрации его молекул и температуры:

$$p = nkT,$$

где k — постоянная Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К

Пример решения задачи. Определите молярную массу воды.

Решение.

Для того чтобы определить молярную массу воды, необходимо по таблице Менделеева определить относительные молекулярные (атомные) массы водорода и кислорода. Относительная атомная масса водорода равна 1,00797, а кислорода 15,9994. Химическая формула

¹ Количество вещества обозначают или латинской буквой n , или греческой буквой ню (ν).

воды H_2O . Следовательно, относительная молекулярная масса воды равна $M_r = 2 \cdot 1,00797 + 15,9994 = 18,01534 \approx 18$.

Молярную массу воды найдем по формуле $M \approx 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} \approx 0,018 \text{ кг/моль}$.

2.1.2. Температура. Энергия теплового движения молекул

Величины, характеризующие состояние макроскопических тел без учета молекулярного строения тел (V, p, t), называют **макроскопическими параметрами**.

Температура характеризует степень нагретости тела (холодное, теплое, горячее). Для ее измерения был создан прибор, называемый термометром.

В его устройстве использовано свойство тел изменять объем при нагревании или охлаждении.

Чаще всего на практике используют зависимость объема жидкости (ртути или спирта) от температуры. При градуировке термометра за начало отсчета (0) принимают температуру таящего льда; второй постоянной точкой (100) считают температуру кипения воды при нормальном атмосферном давлении (шкала Цельсия). Шкалу между точками 0 и 100 делят на 100 равных частей, называемых *градусами* ($^{\circ}$).

Для измерения температуры тела человека нужно подержать медицинский термометр под мышкой 5—8 мин. За это время ртуть в термометре нагревается, и уровень ее повышается. По длине столбика ртути можно определить температуру.

Однако жидкости расширяются при нагревании неодинаково. 0 и 100 $^{\circ}\text{C}$ будут совпадать у всех термометров, а, например 50 $^{\circ}\text{C}$ совпадать не будут.

В отличие от жидкостей все разреженные газы — водород, гелий, кислород — расширяются при нагревании одинаково и одинаково меняют свое давление при изменении температуры. Исходя из этого в физике для установления рациональной температурной шкалы используют *идеальную газовую шкалу температур*.

Тепловым равновесием называют такое состояние, при котором все макроскопические параметры сколь угодно долго остаются неизменными.

Это означает, что в системе не меняются объем и давление, не происходит теплообмен, отсутствуют взаимные превращения газов, жидкостей и твердых тел. Температура тела остается постоянной, имеет строго определенное значение. Другие физические величины в со-

стоянии теплового равновесия могут иметь разные значения, которые с течением времени не меняются. Но микроскопические процессы внутри тела не прекращаются и при тепловом равновесии; меняются положения молекул, их скорости при столкновениях.

При тепловом равновесии средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул всех газов одинакова.

С помощью основного уравнения молекулярно-кинетической теории ее можно выразить через макроскопические параметры.

Так как

$$n = \frac{N}{V},$$

то из уравнения

$$p = \frac{2}{3} n \cdot \bar{E},$$

получим

$$p = \frac{2N}{3V} \bar{E}, \quad \text{или} \quad \frac{pV}{N} = \frac{2}{3} \bar{E}.$$

Давление и объем измеряются. Число молекул можно определить, зная массу газа m , молярную массу M и постоянную Авогадро N_A :

$$N = \frac{m}{M} N_A.$$

Если кинетическая энергия одинаковая величина для всех газов в состоянии теплового равновесия, то и величина $\frac{pV}{N}$ должна быть тоже одинаковой.

Проведем опыт: возьмем несколько сосудов, заполненных различными газами, например водородом, гелием и кислородом. Сосуды имеют определенные объемы и подсоединены к манометрам, чтобы измерить давление. Массы газов известны, следовательно, известно число молекул в каждом сосуде.

Поместим газы в тающий лед, спустя некоторое время они будут находиться в состоянии теплового равновесия. Давление газов перестанет меняться.

Найдем отношение $\frac{pV}{N}$ для водорода: $\frac{p_{H_2} V_{H_2}}{N_{H_2}} = 3,76 \cdot 10^{-21}$ Дж. Та-

кое же значение отношения произведения давления газа на его объем

к числу молекул получается для всех других газов при температуре тающего льда. Обозначим это отношение через Θ_0 . Тогда

$$\frac{p_{\text{H}_2} V_{\text{H}_2}}{N_{\text{H}_2}} = \frac{p_{\text{H}_2} V_{\text{H}_2}}{N_{\text{H}_2}} = \frac{p_{\text{O}_2} V_{\text{O}_2}}{N_{\text{O}_2}} = 3,76 \cdot 10^{-21} \text{ Дж} = \Theta_0.$$

Это равенство выполняется для достаточно разреженных газов, когда их можно считать идеальными.

Поместим сосуды с газами в кипящую воду при нормальном атмосферном давлении. Найдем отношение $\frac{pV}{N}$ для всех газов, оно будет по-прежнему одним и тем же, но больше предыдущего:

$$\frac{pV}{N} = \Theta_{100} = 5,14 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}.$$

Величина Θ растет с повышением температуры и зависит только от нее. Θ можно рассматривать как естественную меру температуры, определяемую через другие макроскопические параметры газа. В принципе ее можно считать и температурой, выраженной в энергетических единицах — джоулях.

Абсолютная температура

Вместо температуры Θ , выражаемой в энергетических единицах, введем температуру, выражаемую в градусах:

$$\Theta = kT,$$

где k — коэффициент пропорциональности, называемый постоянной Больцмана; T — абсолютная температура.

Учитывая, что $\frac{pV}{N} = \Theta$, получим $\frac{pV}{N} = kT$.

По этой формуле вводится температурная шкала (в градусах), не зависящая от вещества, используемого для измерения температуры.

Температура T не может быть отрицательной, так как все величины, стоящие в левой части формулы, положительны. Следовательно, наименьшим возможным значением температуры является ноль, если давление и объем равны нулю.

Предельную температуру, при которой давление идеального газа обращается в нуль при фиксированном объеме или объем идеального газа стремится к нулю при неизменном давлении, называют абсолютным нулем температуры. Эта самая низкая температура в природе.

Абсолютная шкала температур

Английский ученый У. Кельвин (1824—1907) ввел абсолютную шкалу температур. Нулевая температура по абсолютной шкале (шкала Кельвина) соответствует абсолютному нулю, а каждая единица температуры по этой шкале равна градусу по шкале Цельсия.

Единица абсолютной температуры в СИ называется **кельвином** и обозначается буквой **К**.

Связь абсолютной шкалы и шкалы Цельсия

Зная постоянную Больцмана, можно найти значение абсолютного нуля по шкале Цельсия:

$$T \approx 273 \text{ К.}$$

Один кельвин и один градус шкалы Цельсия совпадают, поэтому любое значение абсолютной температуры T будет на 273° выше соответствующей температуры t по Цельсию:

$$T = t + 273.$$

Абсолютному нулю соответствует температура $t = -273^\circ \text{C}$.

Абсолютная температура есть мера средней кинетической энергии движения молекул.

Средняя кинетическая энергия хаотичного поступательного движения молекул газа пропорциональна абсолютной температуре:

$$\bar{E} = \frac{3}{2} kT.$$

Это уравнение дает возможность найти **средний квадрат скорости** движения молекулы. Подставив в это уравнение $\bar{E} = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$, получим выражение для среднего квадрата скорости: $\bar{v}^2 = 3 \frac{kT}{m_0}$.

Квадратный корень из этой величины называется *средней квадратичной скоростью*:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}.$$

Пример решения задачи. Чему равно отношение произведения давления газа на его объем к числу молекул при температуре $t = 300^\circ \text{C}$?

Решение.

Применим формулу $\frac{pV}{N} = kT$: $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К, $T = t + 273 = 573$ К.

Следовательно,

$$\frac{pV}{N} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} \cdot 573 \text{ К} = 7,9 \cdot 10^{-21} \text{ Дж.}$$

2.1.3. Уравнение состояния идеального газа. Газовые законы

Уравнение Клапейрона – Менделеева (уравнение состояния идеального газа):

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

где R — универсальная газовая постоянная, $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$.

Изопроцессы

Процессы, протекающие при неизменном значении одного из параметров, называют **изопроцессами**.

Изотермический процесс

Процесс изменения состояния термодинамической системы макроскопических тел при постоянной температуре называют **изотермическим**.

Согласно уравнению состояния идеального газа, $p \cdot V = \text{const}$ при $T = \text{const}$ или $\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$.

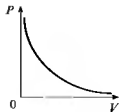


Рис. 2.1

*Для газа данной массы произведение давления газа на его объем постоянно, если температура газа не меняется. Этот закон называется **законом Бойля – Мариотта**.*

Зависимость давления газа от объема при постоянной температуре графически изображается кривой, которая называется **изотермой** (гиперболой) (рис. 2.1). Изотерма газа изображает обратно пропорциональную зависимость между давлением и объемом.

Изохорный процесс

Процесс изменения состояния термодинамической системы макроскопических тел при постоянном объеме называют **изохорным**:

$$\frac{p}{T} = \text{const при } V = \text{const, или } \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

Для газа данной массы отношение давления к температуре постоянно, если объем не меняется. Этот закон носит название **закона Шарля**.

Давление газа линейно зависит от температуры при постоянном объеме. Эта зависимость изображается прямой, называемой *изохорой* (рис. 2.2).

Все изохоры начинаются в точке $T = 0$.

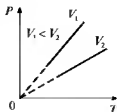


Рис. 2.2

Изобарный процесс

Процесс изменения состояния термодинамической системы макроскопических тел при постоянном давлении называют **изобарным**:

$$\frac{V}{T} = \text{const при } P = \text{const, или } \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}.$$

Для газа данной массы отношение объема газа к температуре постоянно, если давление газа не меняется. Этот закон носит название **закона Гей-Люссака**.

Объем газа линейно зависит от T , эта зависимость графически изображается прямой, называемой *изобарой* (рис. 2.3).

Пример решения задачи. Плотность воздуха ρ при нормальных условиях ($t_0 = 0^\circ\text{C}$ и атмосферном давлении $p_0 = 101\,325\text{ Па}$) равна $1,29\text{ кг/м}^3$.

Найдите среднюю молярную массу воздуха.

Решение.

$$p_0 V_0 = \frac{m}{M} R T_0.$$

Здесь $R = 8,31\text{ Дж/(моль К)}$ и $T_0 = 273\text{ К}$.

Отсюда

$$M = \frac{m R T_0}{V_0 \rho_0} = \frac{p_0 T_0}{\rho_0 R} = 0,029\text{ кг/моль}.$$

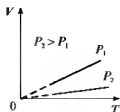


Рис. 2.3

Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите утверждения, лежащие в основе МКТ.
2. Что называется относительной молекулярной массой вещества?
3. Что такое количество вещества? Чему оно равно?
4. Что такое один моль?
5. Что называют молярной массой вещества?
6. Что такое броуновское движение?
7. Когда между молекулами действуют силы отталкивания, а когда силы притяжения?
8. Что такое идеальный газ?
9. Чему равно давление идеального газа?
10. Уравнение состояния идеального газа.

Задачи.

1. Какова средняя кинетическая энергия атома аргона, если температура газа $17\text{ }^{\circ}\text{C}$?
2. Где больше молекул: в комнате объемом 50 м^3 при нормальном атмосферном давлении и температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ или в стакане воды объемом 200 см^3 ?

2.2. Основы термодинамики

2.2.1. Первый и второй законы термодинамики

Теория тепловых процессов, в которой не учитывается молекулярное строение тел, называется **термодинамикой**.

Наряду с механической энергией, макроскопические тела обладают еще и энергией, заключенной внутри самих тел. Это **внутренняя энергия**.

Внутренняя энергия макроскопического тела равна сумме кинетических энергий беспорядочного движения всех молекул (атомов) тела и потенциальных энергий взаимодействий всех молекул друг с другом:

$$U = \frac{3m}{2M} RT.$$

Внутренняя энергия идеального одноатомного газа прямо пропорциональна его абсолютной температуре.

Работа в термодинамике

Работа в термодинамике определяется, так же как и в механике, но равна изменению не кинетической энергии, а его внутренней энергии.

При сжатии или расширении меняется внутренняя энергия тела.

Причина изменения температуры газа в процессе его сжатия состоит в следующем: при упругих соударениях молекул газа с движущимся поршнем изменяется их кинетическая энергия. Газ нагревается.

Если газ расширяется, то после столкновения с удаляющимся поршнем скорости молекул уменьшаются, в результате чего газ охлаждается.

При расширении газ совершает положительную работу $A' > 0$, так как направление силы F' и направление перемещения поршня совпадают, а работа внешних сил будет отрицательная $A < 0$ (рис. 2.4).

Если газ сжимается, то $A' < 0$, а работа внешней силы оказывается положительной $A > 0$, поскольку при сжатии газа направления силы F и перемещения совпадают (рис. 2.5).

Работа A , совершаемая внешними телами над газом, отличается от работы газа A' только знаком

$$A = A' = -p\Delta V,$$

где A — работа, совершаемая внешними телами над газом; A' — работа газа.

Пример решения задачи. В цилиндре под тяжелым поршнем находится углекислый газ ($M = 0,044$ кг/моль) массой $m = 0,20$ кг. Газ нагревается на $\Delta T = 88$ К. Какую работу он при этом совершает?

Решение.

Газ расширяется при некотором постоянном давлении p , которое создается атмосферой и поршнем. В этом случае работа газа равна: $A' = p(V_2 - V_1)$.

Используя уравнение Клапейрона – Менделеева $pV = \frac{m}{M}RT$, выразим произведения pV_2 и pV_1 через $\frac{m}{M}RT_1$ и $\frac{m}{M}RT_2$. Тогда

$$A' = \frac{m}{M}R(T_2 - T_1) \approx 3,3 \text{ Дж.}$$

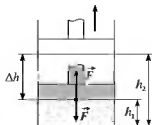


Рис. 2.4

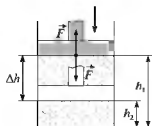


Рис. 2.5

Количество теплоты

Количественную меру изменения внутренней энергии при теплообмене называют *количеством теплоты*.

Для нагревания, охлаждения тела необходимо передать ему количество теплоты:

$$Q = \pm cm(t_2 - t_1),$$

где c — удельная теплоемкость — это количество теплоты, которое получает или отдает 1 кг вещества при изменении его температуры на 1 К.

Для превращения жидкости в пар требуется количество теплоты, равное

$$Q_n = rm,$$

где r — удельная теплота парообразования — это количество теплоты, необходимое для превращения при постоянной температуре 1 кг жидкости в пар.

При конденсации пара происходит выделение такого же количества теплоты:

$$Q_k = -rm.$$

Для того, чтобы расплавить кристаллическое тело массой m , необходимо количество теплоты, равное

$$Q_{пл} = \lambda m.$$

Количество теплоты, выделяемое при кристаллизации тела, равно

$$Q_{кр} = -\lambda m,$$

где λ — удельная теплота плавления — это количество теплоты, необходимое для превращения 1 кг кристаллического вещества при температуре плавления в жидкость той же температуры.

Первый закон термодинамики

Изменение внутренней энергии системы при переходе из одного состояния в другое равно сумме работы внешних сил и количества теплоты, переданного системе:

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

Количество теплоты, переданное системе, идет на изменение ее внутренней энергии и на совершение системой работы над внешними телами:

$$Q = \Delta U + A'.$$

Закон сохранения энергии

Энергия в природе не возникает из ничего и не исчезает: количество энергии неизменно, она только переходит из одной формы в другую.

Второй закон термодинамики

Невозможно перевести теплоту от более холодной системы к более горячей при отсутствии других одновременных изменений в обеих системах или в окружающих телах.

Принцип действия и коэффициент полезного действия тепловых машин

Второе начало термодинамики играет важную роль в теории тепловых машин.

Тепловыми машинами называют устройства, с помощью которых часть внутренней энергии системы можно превратить в механическую энергию и за счет нее совершить работу.

К таким устройствам относятся паровые машины, паровые турбины, двигатели внутреннего сгорания и реактивные двигатели.

В 1824 году французский инженер Садн Карно показал, что максимально возможный коэффициент полезного действия (КПД) тепловых машин определяется формулой

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\%.$$

где Q_1 — затраченное нагревателем количество теплоты; Q_2 — количество теплоты, отбираемое холодильником.

Эта формула имеет только теоретическое значение, так как в реальных условиях измерить Q_1 и Q_2 практически невозможно.

Есть другая формула, удобная для практического применения:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \cdot 100\%,$$

где T_1 — температура нагревателя, а T_2 — температура холодильника.

В данном случае η — это КПД идеальной тепловой машины, в которой кроме Q_2 никакие другие потери энергии не учитываются.

Применение первого закона термодинамики к изопроцессам

Изотермический процесс

$pV = \text{const}$ при $T = \text{const}$. Согласно формуле $Q = \Delta U + A'$, так как $T = \text{const}$, то $\Delta U = 0$, следовательно, $Q = A'$.

Изобарный процесс

$\frac{V}{T} = \text{const}$ при $P = \text{const}$. Согласно формуле $Q = \Delta U + A'$, передаваемое газу количество теплоты идет на изменение его внутренней энергии и на совершение им работы при постоянном давлении $\Delta U + A'$.

Изохорный процесс

$\frac{p}{T} = \text{const}$ при $V = \text{const}$. Согласно формуле $Q = \Delta U + A'$, так как $V = \text{const}$, то $Q = \Delta U$.

Адиабатный процесс

Адиабатный процесс — процесс в теплоизолированной системе.

$Q = 0$, следовательно $\Delta U = -A'$ или $\Delta U = A$.

Пример решения задачи. Во время расширения газа, вызванного его нагреванием, в цилиндре с поперечным сечением $S = 200 \text{ см}^2$ газу было передано количество теплоты $Q = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Дж}$, причем давление газа оставалось постоянным и равным $p = 2 \cdot 10^7 \text{ Па}$. Насколько изменилась внутренняя энергия газа, если поршень передвинулся на расстояние $\Delta h = 30 \text{ см}$?

Решение.

Согласно первому закону термодинамики в этой форме $Q = \Delta U + A'$, где $A' = p\Delta V = pS\Delta h$ — работа, совершаемая газом. Отсюда $\Delta U = Q - pS\Delta h = 30 \text{ кДж}$.

Теплообмен в замкнутой системе

При обмене теплотой в изолированной системе без совершения работы выполняется уравнение теплового баланса: $Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = 0$, где Q_1, Q_2, Q_3 — количества теплоты, полученные или отданные телами.

2.2.2. Агрегатные состояния вещества**Понятие фазы вещества**

Вещество может находиться в различных физических состояниях, или фазах. Например, три различных агрегатных состояний воды — лед, обычная вода, водяной пар — это тоже три ее различные фазы.

Но понятия фазы вещества и его агрегатного состояния не являются тождественными. В пределах одного и того же агрегатного состояния вещество может находиться в различных фазах. В качестве примера, рассмотрим алмаз и графит. Химический анализ показывает, что и тот и другой представляют собой углерод в чистом виде, однако

свойства их весьма различны. Алмаз — одно из самых твердых веществ. Его плотность составляет $3,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Ювелирная обработка алмаза превращает его в бриллиант — сверкающий драгоценный камень. Графит — совсем невзрачное вещество, легко расслаивается и имеет плотность $2,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Таким образом, алмаз и графит — это две различные фазовые модификации твердого углерода.

В окружающей нас природе мы часто наблюдаем фазовый переход вещества (воды) из жидкого состояния в газообразное (в пар). Если такой переход совершается только в поверхностном слое жидкости, то его называют *испарением*. Испаряющаяся вода забирает теплоту от окружающего воздуха. Испарение сопровождается поглощением теплоты. Для того, чтобы покинуть жидкость и перейти в пар, молекула должна совершить работу выхода, т.е. преодолеть притяжение окружающих молекул жидкости.

Наряду с испарением происходит также конденсация пара. В процессе конденсации часть молекул вследствие хаотичности их движения возвращается в жидкость. Конденсация сопровождается выделением теплоты в том же количестве на единицу массы, в каком она поглощается при испарении.

При некоторых условиях между этими процессами устанавливается динамическое равновесие, когда число молекул, покидающих жидкость в единицу времени, равно числу молекул, возвращающихся в нее.

Пар, находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью, называют *насыщенным*. Давление насыщенного пара не зависит от объема: чем выше температура насыщенного пара, тем больше его плотность и давление.

Сильнее всего проявляется взаимодействие частиц вещества в *твердом состоянии*. Расстояние между молекулами примерно равно их собственным размерам. Это приводит к достаточно сильному взаимодействию, что практически лишает частицы возможности двигаться: они колеблются около некоторого положения равновесия. Они сохраняют форму и объем.

Свойства *жидкостей* также объясняются их строением. Частицы вещества в жидкостях взаимодействуют менее интенсивно, чем в твердых телах, и поэтому могут скачками менять свое местоположение — жидкости не сохраняют свою форму — они текучи.

Газ представляет собой собрание молекул, беспорядочно движущихся по всем направлениям независимо друг от друга. Газы не имеют собственной формы, занимают весь предоставляемый им объем и легко сжимаются.

Существует еще одно состояние вещества — плазма.

Плазма — частично или полностью ионизованный газ, в котором плотности положительных и отрицательных зарядов практически одинаковы. При достаточно сильном нагревании любое вещество испаряется, превращаясь в газ. Если увеличивать температуру и дальше, резко усилится процесс термической ионизации, т.е. молекулы газа начнут распадаться на составляющие их атомы, которые затем превращаются в ионы. Ионизация газа, кроме того, может быть вызвана его взаимодействием с электромагнитным излучением (фотоионизация) или бомбардировкой газа заряженными частицами.

Влажность воздуха

Количество водяного пара, содержащегося в 1 м^3 воздуха, называют **абсолютной влажностью воздуха**.

Абсолютная влажность воздуха не определяет погодно-климатических условий. Решающую роль играет температура воздуха. При одной и той же абсолютной влажности воздух в зависимости от температуры вызывает ощущение сухой или сырой погоды. Все дело в том, насколько близок находящийся в воздухе пар к состоянию насыщения.

Для характеристики состояния водяного пара при каждой конкретной температуре вводится величина — относительная влажность воздуха.

Относительной влажностью воздуха называют выраженное в процентах отношение абсолютной влажности ρ к плотности насыщенного пара ρ_0 при данной температуре:

$$r = \frac{\rho}{\rho_0} 100\%.$$

Точка росы

Температура, при которой находящийся в воздухе пар приходит в состояние насыщения, называют **точкой росы**.

В этом случае относительная влажность воздуха равна 100%, а процессы испарения воды и конденсации пара идут одинаково интенсивно.

В средних широтах в предрассветные часы температура нередко опускается ниже точки росы, тогда на траве, листьях деревьев, металлических крышах появляется роса, а в низинах над озерами, реками и болотами повисает туман, состоящий из очень маленьких капелек воды.

При определении влажности воздуха пользуются приборами — *гигрометрами* и *психрометрами*.

Кипение

Если наблюдать за процессом закипания воды, то увидим следующее:

- вначале на дне и стенках сосуда появляется множество мелких пузырьков. Это пузырьки воздуха, некоторое количество которого растворено в воде;
- при дальнейшем нагревании пузырьки начинают расти за счет поступившего в них пара, и всплывают к поверхности. В верхних, менее нагретых, слоях жидкости находящийся в пузырьках пар конденсируется, а воздух растворяется в воде, поэтому, не достигнув поверхности, пузырьки захлопываются, производя характерный шум;
- когда жидкость достаточно прогреется во всем объеме, пузырьки, быстро увеличиваясь в размерах, достигают поверхностного слоя и лопаются, разбрызгивая жидкость. С этого момента начинается процесс кипения.

Кипение — это парообразование, происходящее во всем объеме жидкости.

Температуру, при которой закипает жидкость, называют **точкой кипения** данной жидкости.

Разрыв пузырьков в поверхностном слое кипящей жидкости говорит о том, что давление пара в них превышает внешнее давление газа, например воздуха, над поверхностью жидкости.

Жидкость начинает кипеть при той температуре, при которой давление ее насыщенных паров равно внешнему давлению.

Жидкое состояние

Молекулярные силы, действующие вдоль поверхностного слоя жидкости, создают ее **поверхностное натяжение**.

Например, проволочное колечко опускают в мыльную воду, если вынуть колечко из этого раствора, то оно окажется затянутым мыльной пленкой.

На мыльную пленку аккуратно кладут связанную концами нитку. Проколов пленку внутри контура нитки, можно видеть, что нитка натянулась и приняла форму окружности. Сила, растягивающая нитку, является *силой поверхностного натяжения*.

Отношение силы поверхностного натяжения к длине границы поверхностного слоя жидкости называют **поверхностным натяжением** (коэффициентом поверхностного натяжения) данной жидкости:

$$\sigma = \frac{F_n}{l}$$

Коэффициент поверхностного натяжения у разных жидкостей различен, но он во всех случаях уменьшается по мере повышения температуры жидкости.

Смачивание

При соприкосновении жидкости с твердым телом наблюдаются явления: либо *смачивание*, либо *несмачивание*.

Если молекулярное взаимодействие между жидкостью и твердым телом больше, чем внутри жидкости, то наблюдается смачивание. Например, вода хорошо смачивает дерево, вату, глину, хлопчатобумажные ткани, но она не смачивает смолу, парафин, жир, воск. Ртуть не смачивает ни дерево, ни вату, ни глину, но хорошо смачивает чистую поверхность металлов.

При смачивании капля растекается, а при несмачивании сохраняет свою овальную форму.

Капиллярность

Благодаря давлению в очень узких трубках — капиллярах происходит либо подъем, либо опускание жидкости.

Возьмем сосуд с водой и опустим в воду узкую стеклянную трубку. Поскольку вода смачивает стекло и давление направлено вверх, то уровень воды в трубке окажется выше, чем в сосуде. Если же такую трубку опустить в сосуд с ртутью, которая не смачивает стекло, то уровень ртути в трубке окажется ниже, чем в сосуде.

Явления смачивания и *капиллярности* широко распространены в природе, используются в быту и технике. Например, дерево хорошо смачивается водой, влага из почвы по узким промежуткам между волокнами поднимается к его кроне.

Пчелы извлекают нектар из глубины цветка посредством капилляра, находящегося внутри пчелиного хоботка.

Перья водоплавающих птиц смазаны жиром и не смачиваются водой, поэтому водоплавающие птицы легко держатся на поверхности воды.

Вязкость

Смачивание притормаживает хаотическое движение молекул жидкости, которые как бы прилипают на некоторое время к поверхности твердого тела. Это время называют *временем оседлой жизни молекул*.

Время оседлой жизни существенно зависит от температуры. Оно уменьшается при нагревании жидкости.

Время оседлой жизни молекул зависит также от вязкости жидкости.

Такие жидкости, как глицерин, касторовое масло, мед обладают большой вязкостью и большим временем оседлой жизни молекул.

Существует большая группа веществ, которые по признаку сохранения формы можно отнести к твердым телам, но которые по своему внутреннему строению подобны жидкостям с аномально большой вязкостью. Такие вещества называют *аморфными*. К ним относятся стекло, пластмассы, смолы, каучук и т.д.

При нагревании они размягчаются и приобретают текучесть.

Кристаллическое состояние

Для внутреннего строения жидкости характерен кратковременный ближний порядок, который охватывает всего 2—3 молекулярных слоя.

Если же упорядоченное расположение молекул и атомов является устойчивым и распространяется на весь объем тела, то для характеристики его внутреннего строения используют термин «дальний порядок».

Дальний порядок служит основным признаком кристаллического тела. Тела, состоящие из одного кристалла, называют *монокристаллами*. К ним относятся некоторые драгоценные камни, снежинки.

Тела, состоящие из множества кристаллов, называют *поликристаллами*. К ним относятся металлы, сахар, лед и многие другие вещества.

Молекулы и атомы в кристаллах расположены не хаотично, а в виде ячеек правильной геометрической формы. Такой форме соответствует пространственная решетка кристалла, а именно дальний порядок.

Кристалл представляет анизотропную среду. Это значит его свойства неодинаковы по различным направлениям. Например, гипс — поликристалл. Нанесем на гладкую поверхность гипса тонкий слой воска и коснемся его раскаленной иглой. Вокруг иглы воск расплавится, при этом пятно расплавленного воска примет форму эллипса. Теплопроводность гипса вдоль большой оси эллипса оказалась более высокой, чем в других направлениях. Гипс анизотропен. Если же такой опыт проделать на поверхности стекла, то пятно расплавленного воска примет форму круга. Следовательно, теплопроводность стекла не зависит от направления. Стекло изотропно и является аморфным веществом.

Типы связей в кристаллах

Молекулярный тип связей. Этот тип связей осуществляется взаимодействием нейтральных молекул. Такая связь наиболее слабая. Кристаллы с молекулярной связью легко разрушаются и имеют сравнительно низкую температуру плавления, например лед.

Ионная связь. Примером кристаллов с ионной связью являются кристаллы поваренной соли. В решетке поваренной соли чередуются положительные ионы натрия с отрицательными ионами хлора. Этот тип связей обеспечивается притяжением разноименно заряженных ионов.

Атомная связь. Атомную связь частиц в кристаллах называют также ковалентной. Атомы удерживаются в узлах кристаллической решетки путем обмена внешними электронами. Атомная связь встречается в кристаллах сурьмы, селена, оксида кремния и ряда других веществ.

Металлическая связь. При наличии этой связи внешние электроны обобществляются не только соседними ионами, но и всеми ионами кристаллической решетки.

Отрицательный заряд электронного газа как бы цементирует положительно заряженные ионы в ее узлах.

Не все твердые тела — кристаллы. Существует множество *аморфных* тел.

У аморфных тел нет строгого порядка в расположении атомов. Только ближайшие атомы — соседи располагаются в некотором порядке.

Часто одно и то же вещество может находиться как в кристаллическом, так и в аморфном состоянии. Например, кварц SiO_2 может быть как в кристаллической, так и в аморфной форме. Кристаллическую форму кварца схематически можно представить в виде решетки из правильных шестиугольников. Аморфная структура кварца также имеет вид решетки, но неправильной формы.

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое термодинамика?
2. Что такое внутренняя энергия? Чему она равна?
3. Чему равна внутренняя энергия идеального одноатомного газа?
4. Как определяется работа в термодинамике?
5. Что такое количество теплоты?
6. Сформулируйте первый и второй законы термодинамики.
7. Примените первый закон термодинамики к изопроцессам.
8. Перечислите агрегатные состояния вещества. Что такое фаза вещества?
9. Что такое абсолютная влажность воздуха?
10. Что такое относительная влажность воздуха?

Задачи.

1. Как изменится внутренняя энергия одноатомного идеального газа, если его давление увеличится в 3 раза, а объем уменьшится в 2 раза?
2. Газ, находящийся под давлением $p = 10^5$ Па, изобарно расширился, совершив работу $A = 25$ Дж. Насколько увеличился объем газа?

ГЛАВА 3. ЭЛЕКТРОДИНАМИКА

3.1. Электростатика

3.1.1. Электрический заряд.

Электрическое поле. Проводники

Электродинамика — наука о свойствах и закономерностях поведения особого вида материи — электромагнитного поля, осуществляющего взаимодействие между электрически заряженными телами или частицами.

Если частицы взаимодействуют друг с другом с силами, которые убывают с увеличением расстояния, так же как и силы всемирного тяготения, но превышают силы тяготения во много раз, то говорят, что эти частицы имеют **электрический заряд**. Сами частицы называются *заряженными*.

Два знака электрических зарядов

Стеклянная палочка, потертая о шелк, притягивает к себе легкие предметы (кусочки бумаги). Те же кусочки будут притягиваться и к эбонитовой палочке, потертой о мех. Эбонит — твердый материал, получаемый из каучука с большим количеством серы.

Заряд того рода, который возникает на стекле потертом о шелк, назвали положительным (+). Заряд того рода, который возникает на янтаре, потертом о шерсть, назвали отрицательным (-). Янтарь представляет собой затвердевшую смолу хвойных деревьев, которые росли на Земле около 50 млн лет назад.

При зарядах одинаковых знаков частицы отталкиваются, а при разных — притягиваются. Заряд элементарных частиц — *протонов*, входящих в состав всех атомных ядер, называют положительным, а заряд электронов — отрицательным. К частицам, не имеющим электрического заряда, относится *нейтрон*.

Макроскопическое тело заряжено электрически в том случае, если оно содержит избыточное количество элементарных частиц с каким-либо одним знаком заряда.

Для того, чтобы получить электрически заряженное макроскопическое тело, т.е. наэлектризовать его, нужно отделить часть отрицательного заряда от связанного с ним положительного.

В результате опытов по электризации было установлено, что все вещества можно расположить в ряды, в которых предыдущее тело элек-

тризуется при трении о последующее тело положительно, а последующее при этом отрицательно. Электрические заряды, возникающие при электризации трением, называют **статическим электричеством**. В результате электризации трением электрический заряд приобретают оба тела.

Делимость электрического заряда

Возьмем два одинаковых электромметра и один из них зарядим.

Если соединить эти электромметры стеклянной палочкой, то никаких изменений не произойдет. Это подтверждает, что стекло — диэлектрик. Если же для соединения электромметров использовать металлический стержень, держа его за непроводящую электричество ручку, то мы увидим, что первоначальный заряд разделится на две равные части: половина заряда перейдет с первого шара на второй. Если бы второй шар был больше первого, то на него перешло бы больше половины заряда. Чем больше тело, которому передают заряд, тем большая часть на него переходит. На этом основано заземление — передача заряда Земле. Земной шар велик по сравнению с телами, находящимися на нем, поэтому при соприкосновении с Землей заряженное тело отдает ей почти весь свой заряд и становится практически нейтральным.

Продолжим опыт. Разъединим электромметры и коснемся второго шара рукой. От этого он потеряет заряд — разрядится. Соединим его снова с первым шаром, на котором осталась половина первоначального заряда. Оставшийся заряд снова разделится на две равные части, на первом шаре останется четвертая часть первоначального заряда и т.д.

Более точные опыты показали, что электрический заряд нельзя уменьшать бесконечно: он имеет предел делимости. Абсолютную величину (модуль) наименьшего заряда обозначают буквой e и называют *элементарным зарядом*: $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Строение атома

В 1897 году ученый Дж.Дж. Томсон открыл частицу, являющуюся носителем элементарного заряда. Эту частицу назвали **электроном**.

Масса электрона оказалась почти в 2000 раз меньше массы самого легкого атома в природе — атома водорода. Заряд электрона отрицательный:

$$q_{эз} = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

Электроны входят в состав атомов. Электроны внутри атома обращаются вокруг положительно заряженного атомного ядра.

Совокупность атомов одного вида называют химическим элементом. Атомы разных химических элементов отличаются друг от друга зарядом своих ядер и числом электронов, обращающихся вокруг них. Например, в атоме водорода движется всего лишь один электрон, в атоме кислорода — восемь электронов, в атоме урана — 92.

Число электронов в атоме совпадает с порядковым номером элемента в Периодической таблице элементов Д. И. Менделеева.

Через этот же номер выражается и заряд атомного ядра. Введем обозначение: Z — порядковый номер элемента равный числу электронов в атоме.

Тогда для заряда атомного ядра и общего заряда всех электронов в атоме можно записать: $q_{\text{ядра}} = +Ze$, $q_{\text{эл.нов}} = -Ze$.

Сложив общий заряд электронов в атоме с зарядом атомного ядра получим нуль. Это означает, что в целом атом нейтрален.

Атом состоит из атомного ядра и обращающихся вокруг него электронов.

Атомное ядро состоит из протонов и нейтронов. $q_p = e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Число протонов в ядре совпадает с порядковым номером соответствующего элемента в Периодической таблице элементов Д. И. Менделеева. Число протонов в ядре равно числу электронов, обращающихся вокруг этого ядра, и потому обозначается той же буквой: Z — число протонов в ядре.

Помимо порядкового номера, в таблице Менделеева для каждого химического элемента указано еще одно число, которое показывает общее число частиц (протонов и нейтронов) в ядре. Оно означает массовое число ядра и обозначается буквой A .

Число нейтронов в атомном ядре обозначается буквой N . Оно находится по формуле. $N = A - Z$.

Закон сохранения электрического заряда

В замкнутой системе алгебраическая сумма зарядов всех частиц остается неизменной: $q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const}$.

Например, эбонитовую палочку трут о шерсть, она заряжается отрицательно, а шерсть при этом заряжается положительно. Происходит это потому, что при трении на эбонитовой палочке образуется избыток электронов, а на куске шерсти — недостаток. При этом заряды шерсти и эбонитовой палочки оказываются равными по модулю и противоположными по знаку. Объясняется это тем, что недостаток электронов на шерсти в точности равен их избытку на эбоните. При этом полный электрический заряд на шерсти и эбоните по прежнему оказывается равным нулю, т.е. сохраняется.

Полный электрический заряд сохраняется и в том случае, если первоначальные заряды тел были отличны от нуля. Если обозначить первоначальные заряды тел через q_1 , q_2 , а заряды тех же тел после их взаимодействия через q'_1 и q'_2 , то можно записать:

$$q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2.$$

Другая формулировка закона сохранения электрического заряда

При любых взаимодействиях тел их полный электрический заряд остается неизменным.

Примеры решения задач

Задача 1. Самым тяжелым из существующих в природе атомов является атом урана (U). Каков состав этого атома?

Решение.

- 1) число электронов в атоме (оно совпадает с порядковым номером элемента): $Z = 92$;
- 2) общее число частиц в ядре (оно совпадает с массовым числом): $A = 238$;
- 3) число протонов в ядре (оно совпадает с числом электронов в атоме): $Z = 92$;
- 4) число нейтронов в ядре: $N = A - Z = 238 - 92 = 146$.

Задача 2. Имеются два одинаковых металлических шарика. Заряд одного равен 4 нКл, заряд другого равен -10 нКл. Шарики привели в соприкосновение и раздвинули. Какой заряд будет у шариков после этого?

Решение.

По закону сохранения заряда общий заряд шариков должен оставаться неизменным, поэтому $q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2$, так как шарики одинаковые, то заряд после их соприкосновения разделится между ними поровну, таким образом $q'_1 = q'_2$.

Следовательно,

$$2q'_1 = q_1 + q_2, \quad q'_1 = \frac{q_1 + q_2}{2}, \quad q'_1 = q'_2 = \frac{4 \text{ нКл} + (-10 \text{ нКл})}{2} = -3 \text{ нКл}.$$

Закон Кулона

Сила взаимодействия двух точечных неподвижных заряженных тел в вакууме прямо пропорциональна произведению модулей заряда и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними:

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2},$$

где k — коэффициент пропорциональности, $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

Единицу заряда в СИ — **кулон (Кл)** устанавливают с помощью единицы силы тока. Один кулон — это заряд, проходящий за 1 с через поперечное сечение проводника при силе тока 1 А.

Пример решения задачи. Два одинаковых шарика подвешены на нитях длиной $l = 2,0$ м к одной точке. Когда шарикам сообщили одинаковые заряды по $q = 2,0 \cdot 10^{-8}$ Кл, они разошлись на расстояние 16 см. Определите натяжение каждой нити (рис. 3.1).

Решение.

На каждый шарик действуют три силы: сила тяжести $m\vec{g}$, сила упругости $\vec{F}_{\text{упр}}$ и кулоновская сила \vec{F} . Шарик неподвижен, следовательно, сумма проекций сил на оси Ox и Oy равна нулю. Для суммы проекций сил на ось Ox это условие имеет вид $F - F_{\text{упр}} \sin \alpha + mg \cos 90^\circ = 0$.

Так как $\sin \alpha = \frac{r}{2l}$ и $F = k \frac{q^2}{r^2}$, то

$$F_{\text{упр}} = \frac{F}{\sin \alpha} = \frac{F \cdot 2l}{r} = k \frac{q^2 \cdot 2l}{r^3} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ Н.}$$

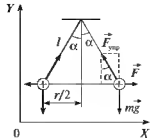


Рис. 3.1

Электрическое поле

Вокруг неподвижного заряда возникает электрическое поле. О природе электрического поля можно сказать следующее:

- 1) поле материально; оно существует независимо от нас и наших знаний о нем;
- 2) поле обладает определенными свойствами, которые не позволяют его спутать, с чем либо другим в окружающем мире;
- 3) главное свойство поля — действие его на электрические заряды с некоторой силой.

Электрическое поле неподвижных зарядов называют **электростатическим**.

Характеристикой электрического поля является **напряженность**.

Напряженность поля — векторная величина, которую обозначают буквой \vec{E} .

Напряженность поля равна отношению силы, с которой поле действует на точечный заряд, к этому заряду:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Направление вектора напряженности совпадает с направлением силы, действующей на положительный заряд, и противоположно направлению силы, действующей на отрицательный заряд.

Вектор напряженности в любой точке электрического поля направлен вдоль прямой, соединяющей эту точку и заряд. Если $q_0 > 0$, то напряженность направлена от заряда. Если $q_0 < 0$, то напряженность направлена к заряду (рис. 3.2.)

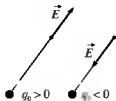


Рис. 3.2

Принцип суперпозиции полей (рис. 3.3): если в данной точке пространства различные заряженные частицы создают электрические поля, напряженности которых \vec{E}_1 , \vec{E}_2 и т.д., то результирующая напряженность поля в этой точке равна $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots$

Силовые линии электрического поля (линии напряженности) — это непрерывные линии касательные к которым в каждой точке, через которую они проходят совпадают с векторами напряженности.

Силовые линии электрического поля не замкнуты, они начинаются на положительных зарядах и оканчиваются на отрицательных.

Густота силовых линий больше вблизи заряженных тел, где напряженность поля также больше.

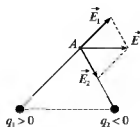


Рис. 3.3

Проводники в электростатическом поле

В проводниках, к которым в первую очередь относятся металлы, имеются заряженные частицы, способные перемещаться внутри проводника под влиянием электрического поля. По этой причине заряды этих частиц называют свободными зарядами.

В металлах носителями свободных зарядов являются электроны.

Электростатического поля внутри проводника нет (напряженность равна нулю). Весь статический заряд проводника сосредоточен на его поверхности.

Утверждение об отсутствии электрического поля внутри проводника справедливо как для заряженного проводника, так и для незаряженного, помещенного во внешнее электростатическое поле.

Например, внесем пластину (проводник) в однородное поле. Под действием электрического поля электроны проводника начинают перемещаться справа налево. В первый момент возникает электрический ток. Левая часть пластины заряжается отрицательно, а правая положительно. Появившиеся заряды создают свое поле, которое накладывается на внешнее поле и компенсирует его. За ничтожно малое время заряды перераспределяются так, что напряженность результирующего поля внутри пластины становится равной нулю и движение зарядов прекращается.

Электроемкость

При заряджении двух проводников один из них приобретает заряд $+q$, а другой $-q$. Между проводниками появляется электрическое поле и возникает разность потенциалов (напряжение). С увеличением напряжения электрическое поле между проводниками усиливается.

Чем меньше увеличивается напряжение между проводниками с увеличением их зарядов, тем больший заряд можно на них накопить.

Введем физическую величину, характеризующую способность двух проводников накапливать электрический заряд. Эту величину называют **электроемкостью**.

Электроемкостью двух проводников называют отношение заряда одного из проводников к разности потенциалов между этим проводником и соседним:

$$C = \frac{q}{U}.$$

Электроемкость двух проводников равна единице, если при сообщении им зарядов $+1$ Кл и -1 Кл между ними возникает разность потенциалов 1 В. Эту единицу называют **фарад (Ф)**; $1 \text{ Ф} = 1 \text{ Кл/В}$.

Большой электроемкостью обладают системы из двух проводников, называемые конденсаторами.

Конденсатор представляет собой два проводника, разделенные слоем диэлектрика, толщина которого мала по сравнению с размерами проводников. Проводники называют обкладками конденсатора.

Под зарядом конденсатора понимают абсолютное значение заряда одной из обкладок.

Потенциалом электростатического поля называют отношение потенциальной энергии заряда в поле к этому заряду:

$$\varphi = \frac{W_p}{q}.$$

Если напряженность поля \vec{E} — вектор и представляет собой силовую характеристику поля, то потенциал φ — скаляр и представляет собой энергетическую характеристику поля.

Разность потенциалов между двумя точками (**напряжение**) равна отношению работы поля при перемещении заряда из начальной точки в конечную:

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q}.$$

Разность потенциалов между двумя точками равна единице, если при перемещении заряда в 1 Кл из одной точки в другую электрическое поле совершает работу в 1 Дж. Эту единицу называют вольт (В); 1 В = 1 Дж/Кл.

Пример решения задачи. Конденсатор имеет емкость $C = 5$ пФ. Какой заряд находится на каждом из его обкладок, если разность потенциалов между ними $U = 1000$ В?

Решение.

Согласно формуле $C = \frac{q}{U}$, заряд обкладки равен $q = CU$:

$$q = 5 \cdot 10^{-12} \cdot 1000 \text{ Кл} = 5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}.$$

3.1.2. Законы постоянного тока. Законы Ома

Закон Джоуля — Ленца

Электрическим током называют упорядоченное движение заряженных частиц.

За направление тока принимают направление движения положительно заряженных частиц. Если ток образован движением отрицательно заряженных частиц, то направление тока считают противоположным направлению движения частиц.

Действие тока

Движение частиц в проводнике мы не видим. О наличии электрического тока судят по тем действиям или явлениям, которые его сопровождают:

- 1) проводник, по которому течет ток, нагревается;
- 2) электрический ток может изменять химический состав проводника, например, выделять медь из раствора медного купороса;
- 3) ток оказывает силовое воздействие на соседние токи и намагниченные тела. Это действие тока называется магнитным. Оно проявляется у всех проводников.

Сила тока — основная количественная характеристика тока. Сила тока равна отношению заряда q , переносимого через поперечное сечение проводника за интервал времени Δt , к этому интервалу времени:

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}.$$

Сила тока — физическая величина, показывающая какой заряд проходит через поперечное сечение проводника за 1 с.

В Международной системе единиц силу тока выражают в **амперах (А)**. Измеряют силу тока амперметром. Если сила тока со временем не меняется, то ток называется *постоянным*.

Условия, необходимые для существования электрического тока:

- 1) наличие свободных заряженных частиц;
- 2) сила, действующая на них в определенном направлении.

Закон Ома для участка цепи

Согласно закону Ома для участка цепи, сила тока прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника:

$$I = \frac{U}{R}.$$

Основная электрическая характеристика проводника — **сопротивление (R)**.

Она характеризует противодействие, оказываемое проводником электрическому току. Единица сопротивления называется **омом (Ом)** в честь немецкого ученого Г. Ома.

Сопротивление однородного проводника постоянного сечения зависит от материала проводника, его длины l и площади поперечного сечения S . Оно может быть найдено по формуле

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где ρ — удельное сопротивление вещества, из которого изготовлен проводник.

Единицей удельного сопротивления в СИ будет $1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{м}^2}{\text{м}} = \text{Ом} \cdot \text{м}$.

На практике площадь сечения тонких проводов часто выражают в квадратных миллиметрах. В этом случае более удобной единицей удельного сопротивления является $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$, так как $1 \text{ мм}^2 = 0,000001 \text{ м}^2$, то $1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} = 0,000001 \text{ Ом} \cdot \text{м}$.

Резистором называют выпускаемую промышленностью деталь, обеспечивающую заданное электрическое сопротивление цепи. Резистор с переменным сопротивлением называют *реостатом*.

Чтобы найти напряжение U на данном участке цепи, надо работу тока A разделить на заряд q , прошедший по этому участку: $U = A/q$.

Единица электрического напряжения называется **вольт** (В).

Прибор для измерения напряжения называется *вольтметром*.

Закон Джоуля — Ленца

Количество теплоты, выделяемое проводником с током равно произведению квадрата силы тока, сопротивления проводника и времени прохождения тока по проводнику:

$$Q = I^2 R \Delta t.$$

Мощность тока равна отношению работы тока за время Δt к этому интервалу времени:

$$P = \frac{A}{\Delta t}.$$

В международной системе единиц работу выражают в **джоулях** (Дж), мощность — в **ваттах** (Вт), а время в секундах (с) $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$.

Так как в жилых зданиях сила тока не должна превышать 10 А, то при напряжении $U = 220 \text{ В}$ соответствующая электрическая мощность оказывается равной $P = 2200 \text{ Вт} = 2,2 \text{ кВт}$.

Закон Ома для полной цепи

Сила тока в полной цепи равна отношению ЭДС цепи к ее полному сопротивлению:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}.$$

Сопротивление источника r часто называют внутренним сопротивлением. R — внешнее сопротивление цепи.

Любые силы, действующие на электрически заряженные частицы, за исключением сил электростатического происхождения, называют **сторонними**.

Электродвижущая сила (ЭДС; \mathcal{E}) в замкнутом контуре представляет собой отношение A работы сторонних сил при перемещении заряда вдоль контура к заряду:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ст}}}{q}.$$

Единица электродвижущей силы также называется **вольт** (В).

Электрические цепи. Последовательное и параллельное соединения проводников

От источника тока энергия может быть передана по проводам к устройствам, потребляющим энергию: электрической лампе, радиоприемнику и т.д. Для этого составляют электрические цепи разной сложности.

Последовательное соединение проводников

При последовательном соединении электрическая цепь не имеет разветвлений. Все проводники включают в цепь поочередно друг за другом. Сила тока в обоих проводниках одинакова, т.е. $I_1 = I_2 = I$, напряжение на концах рассматриваемого участка цепи складывается из напряжений на первом и втором проводниках: $U = U_1 + U_2$. Полное сопротивление всего участка цепи равно $R = R_1 + R_2$. Это правило можно применять для любого числа последовательно соединенных проводников. При последовательном соединении n одинаковых элементов их общее сопротивление R превышает сопротивление одного из них в n раз: $R = nR_1$. Напряжения на проводниках и их сопротивления при

последовательном соединении связаны соотношением $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$.

Параллельное соединение проводников

При параллельном соединении проводников электрический ток разветвляется на две части. Следовательно, $I = I_1 + I_2$. Напряжение U на концах проводников, соединенных параллельно, одно и то же: $U = U_1 = U_2$. Величина, обратная полному сопротивлению участка А–Б, равна сумме величин, обратных сопротивлениям отдельных прово-

дников: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$, откуда следует, что только для двух проводников можно записать $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$.

Если $R_1 = R_2$, то $R = \frac{R_1}{2}$, если параллельно соединено n одинаковых потребителей электроэнергии, то их общее сопротивление в n раз меньше сопротивления каждого из них: $R = \frac{R_1}{n}$. Отсюда следует, что с увеличением числа проводников общее сопротивление будет уменьшаться. Сила тока в каждом из проводников и сопротивления проводников при параллельном соединении связаны соотношением $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$.

В осветительной сети поддерживается напряжение 220 В. На это напряжение рассчитаны приборы, потребляющие электрическую энергию. Поэтому параллельное соединение — самый распространенный способ соединения различных потребителей.

Примеры решения задач

Задача 1. Сила тока в цепи, содержащей реостат, $I = 3,2$ А. Напряжение между клеммами реостата $U = 14,4$ В. Каково сопротивление R той части реостата, в которой существует ток?

Решение. Согласно закону Ома для участка цепи $I = \frac{U}{R}$, откуда $R = \frac{U}{I} = 4,5$ Ом.

Задача 2. Два последовательно соединенных проводника сопротивлением 6 и 4 Ом включены в сеть напряжением 20 В. Определите общую силу тока в цепи, силу тока в каждом проводнике, а также напряжение на каждом из них.

Решение.

Согласно закону Ома, чтобы найти общую силу тока в цепи, надо общее напряжение разделить на общее сопротивление:

$$I = \frac{U}{R},$$

где $R = R_1 + R_2$, $R = 6$ Ом + 4 Ом = 10 Ом

Таким образом, $I = \frac{20}{10}$ А = 2 А. Сила тока в последовательно соединенных проводниках одинакова, т.е. $I_1 = I_2 = I = 2$ А. Чтобы найти на-

пряжение на участке цепи, надо силу тока на этом участке умножить на сопротивление этого участка:

$$U_1 = I_1 R_1, \quad U_1 = 2A \cdot 6 \text{ Ом} = 12 \text{ В};$$

$$U_2 = I_2 R_2, \quad U_2 = 2A \cdot 4 \text{ Ом} = 8 \text{ В}.$$

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое электродинамика?
2. Введите понятие заряда.
3. Какие знаки электрических зарядов вы знаете?
4. Сформулируйте закон сохранения электрического заряда.
5. Сформулируйте закон Кулона.
6. Дайте понятие электрического поля.
7. Какова природа электрического поля?
8. Что является характеристикой электрического поля?
9. Сформулируйте принцип суперпозиции полей.
10. Что такое емкость?

Задачи

1. Определите площадь поперечного сечения и длину медного проводника, если его сопротивление 0,2 Ом, а масса 0,2 кг. Плотность меди 8900 кг/м³.

2. Чему равна сила тока при коротком замыкании аккумулятора с ЭДС = 12 В и внутренним сопротивлением 0.01 Ом?

3.2. Магнитное поле

3.2.1. Магнитное поле. Его свойства. Модуль и направление вектора магнитной индукции

Движущие заряды создают вокруг себя магнитное поле. Движущиеся заряды образуют электрический ток, поэтому магнитное поле — поле, создаваемое электрическим током. Взаимодействия между проводниками с током, т.е. взаимодействия между движущимися электрическими зарядами, называют магнитными. Силы, с которыми проводники с током действуют друг на друга, называют **магнитными силами**.

Магнитное поле представляет собой особую форму материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между движущимися электрически заряженными частицами.

Магнитное поле можно усилить, если провод, по которому идет ток, свернуть в форме винтовой спирали. Полученную катушку с током называют **соленоидом**.

Свойства магнитного поля:

- 1) магнитное поле порождается электрическим током;
- 2) магнитное поле обнаруживается по действию на электрический ток;
- 3) подобно электрическому полю, магнитное поле существует реально независимо от нас и наших знаний о нем.

Магнитное поле создается не только электрическим током, но и постоянными магнитами.

Фундаментальное свойство магнитного поля — магнитное поле не имеет источников. Магнитных зарядов, подобных электрическим в природе нет.

Характеристикой магнитного поля является **вектор магнитной индукции** \vec{B} .

Направление вектора магнитной индукции

Ориентирующее действие магнитного поля на магнитную стрелку или рамку с током можно использовать для определения направления вектора магнитной индукции. **За направление вектора магнитной индукции** принимается направление от южного полюса S к северному N магнитной стрелки, свободно устанавливающейся в магнитном поле. Это направление совпадает с направлением положительной нормали к замкнутому контуру с током. Положительная нормаль направлена в ту сторону, куда перемещается буравчик.

Направление \vec{B} устанавливают с помощью **правила буравчика**: Если направление поступательного движения буравчика совпадает с направлением тока в проводнике, то направление вращения ручки буравчика совпадает с направлением вектора магнитной индукции.

Линиями магнитной индукции \vec{B} называют линии, касательные к которым направлены так же, как и вектор в данной точке поля. Они всегда замкнуты. Поля с замкнутыми силовыми линиями называют **вихревыми**. Линии магнитной индукции магнитного поля прямолинейного проводника с током — концентрические окружности, лежащие в плоскости, перпендикулярной этому проводнику с током.

Если длина соленоида много больше его диаметра, то магнитное поле внутри соленоида можно считать однородным. Линии магнитной индукции такого поля параллельны.

Модуль вектора магнитной индукции

Модулем вектора магнитной индукции назовем отношение максимальной силы, действующей со стороны магнитного поля на участок проводника с током, к произведению силы тока на длину этого участка:

$$\vec{B} = \frac{F_m}{I\Delta l}$$

Согласно этой формуле единица магнитной индукции равна $1 \frac{\text{Н}}{\text{А м}}$

За единицу магнитной индукции можно принять магнитную индукцию однородного поля, в котором на участок проводника длиной 1 м при силе тока в нем 1 А действует со стороны поля максимальная сила $F_m = 1 \text{ Н}$. Единица магнитной индукции получила название **тесла (Тл)** в честь югославского ученого-электротехника Н. Тесла.

Направление силовых линий магнитного поля прямолинейного тока определяется с помощью **первого правила правой руки**: если обхватить проводник, ладонью правой руки, направив отставленный большой палец вдоль тока, то остальные пальцы этой руки укажут направление силовых линий магнитного поля данного тока.

Второе правило правой руки: если обхватить соленоид ладонью правой руки, направив четыре пальца по току в витках, то отставленный большой палец укажет направление магнитных линий внутри соленоида.

3.2.2. Сила Ампера и сила Лоренца

Сила Ампера — это сила, действующая на участок проводника с током.

Закон Ампера

Сила Ампера равна произведению вектора магнитной индукции на силу тока, длину участка проводника и на синус угла между магнитной индукцией и участком проводника:

$$F = \vec{B} I \Delta l \sin \alpha$$

Направление силы Ампера определяется **правилом левой руки** (рис. 3.4): если левую руку расположить так, чтобы перпендикулярная к проводнику, составля-

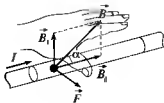


Рис. 3.4

ющая вектора магнитной индукции, входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца были направлены по направлению тока, то отогнутый на 90° большой палец покажет направление силы Ампера.

Сила Лоренца

Силу, действующую на движущуюся заряженную частицу со стороны магнитного поля, называют **силой Лоренца**:

$$F = qvB \sin \alpha.$$

Направление силы Лоренца определяется с помощью **правила левой руки**: если левую руку расположить так, чтобы перпендикулярная к скорости заряда, составляющая вектора магнитной индукции, входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца были направлены по движению положительного заряда, то отогнутый на 90° большой палец покажет направление силы Лоренца (рис. 3.5).

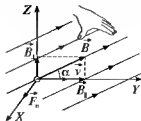


Рис. 3.5

Пример решения задачи. Между полюсами магнита подвешен горизонтально на двух невесомых нитях прямой проводник длиной $l = 0,2$ м и массой $m = 10$ г. Индукция однородного магнитного поля перпендикулярна проводнику и направлена вертикально:

$$B = 49 \text{ мТл.}$$

На какой угол α от вертикали отклонятся нити (рис. 3.6), поддерживающие проводник, если по нему пропустить ток $I = 2$ А?

Решение.

На проводник действуют следующие силы: силы упругости двух

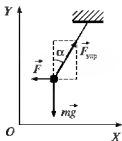


Рис. 3.6

нитей $\vec{F}_{\text{уп}}$, сила тяжести $m\vec{g}$ и сила \vec{F} со стороны магнитного поля. Модуль этой силы равен

$$F = B|I|\Delta l.$$

При равновесии проводника суммы проекций сил равны нулю:

$$mg - F_{\text{уп}} \cos \alpha = 0;$$

$$F - F_{\text{уп}} \sin \alpha = 0.$$

$$\text{Отсюда } \operatorname{tg} \alpha = \frac{F}{mg} = \frac{BII}{mg} \approx 0,2.$$

Следовательно, угол $\alpha = 11,3^\circ$.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие взаимодействия называют магнитными? Перечислите свойства магнитного поля.
2. Как определить направление вектора магнитной индукции?
3. Что называют линиями магнитной индукции?
4. Какие поля называют вихревыми?
5. Как определить модуль вектора магнитной индукции?
6. Сформулируйте закон Ампера.
7. Сформулируйте правило для определения направления силы Ампера.
8. В каких единицах выражается магнитная индукция?
9. Чему равен модуль силы Лоренца?
10. Как определить направление силы Лоренца?

Задачи

1. Используя правило буравчика и правило левой руки, покажите, что токи, направленные в одном направлении параллельно, притягиваются, а в противоположном направлении — отталкиваются.
2. Проводник длиной $l = 0,15$ м перпендикулярен вектору магнитной индукции однородного магнитного поля, модуль которого $B = 0,4$ Тл. Сила тока в проводнике $I = 8$ А. Найдите работу, которая была совершена при перемещении проводника на $0,025$ м по направлению действия силы Ампера.

3.3. Электромагнитная индукция

3.3.1. Явление электромагнитной индукции.

Магнитный поток. Правило Ленца

Электрический ток, рассуждал М. Фарадей, способен намагнитить кусок железа. Не может ли магнит вызвать появление электрического тока? Долгое время эту связь обнаружить не удавалось. Надо было додуматься, что только движущийся магнит, или меняющееся во времени магнитное поле, может возбудить электрический ток в катушке.

Явление электромагнитной индукции заключается в возникновении электрического тока в проводящем контуре, который либо покоится в переменном во времени магнитном поле, либо движется в постоянном магнитном поле таким образом, что число линий магнитной индукции, пронизывающих контур, меняется.

Ток возникает при перемещении катушек друг относительно друга. Фарадей понимал, что магнит — это совокупность маленьких токов, циркулирующих в молекулах, поэтому, он провел опыт, заменив катушку с током на магнит. Перемещая вдоль катушки постоянный магнит вниз, можно увидеть, что пока магнит движется, стрелка гальванометра отклоняется, т.е. в катушке возникает электрический ток.

Как только магнит останавливается, ток исчезает. При движении магнита в обратном направлении — вверх — электрический ток в катушке возникает вновь, но направлении тока противоположно первому.

Ток, возникающий при явлении электромагнитной индукции, называют **индукционным током**.

В замкнутом проводящем контуре возникает ток при изменении числа линий магнитной индукции, пронизывающих поверхность, ограниченную этим контуром. И чем быстрее меняется число линий магнитной индукции, тем больше возникающий индукционный ток.

Магнитный поток

Вектор магнитной индукции \vec{B} характеризует магнитное поле в каждой точке пространства. Можно ввести еще одну величину, зависящую от значений вектора \vec{B} не в одной точке, а во всех точках поверхности, ограниченной плоским замкнутым контуром.

Магнитный поток Φ характеризует магнитное поле во всех точках поверхности, ограниченной плоским замкнутым контуром.

Магнитным потоком Φ через поверхность площадью S называют величину, равную произведению модуля вектора магнитной индукции \vec{B} на площадь и на косинус угла α между векторами \vec{B} и \vec{n} (рис. 3.7):

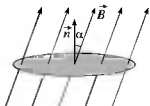


Рис. 3.7

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

Произведение $\vec{B} \cos \alpha = B_n$ представляет собой проекцию вектора магнитной индукции на нормаль к плоскости контура, поэтому $\Phi = \vec{B}_n S$.

Единицей магнитного потока является **вебер (Вб)**.

Взаимодействие индукционного тока с магнитом

Если магнит приближать к катушке, то в ней появляется индукционный ток такого направления, что магнит обязательно отталкивается. При удалении магнита, наоборот, в соответствии с законом сохранения энергии требуется, чтобы появилась сила притяжения. Отталкивает или притягивает катушка магнит, это зависит от направления индукционного тока в ней.

Проведем два опыта: приближение магнита к катушке (рис. 3.8 а) и его удаление (рис. 3.8 б). В первом случае (приближаем магнит к катушке) число линий магнитной индукции, пронизывающих витки катушки (магнитный поток), увеличивается. Линии индукции \vec{B}' магнитного поля, созданного возникшим в катушке индукционным током, выходят из верхнего конца катушки, так как катушка отталкивает магнит. Во втором случае (удаляем магнит от катушки) число линий магнитной индукции (магнитный поток), пронизывающих витки катушки уменьшается. Линии индукции \vec{B}' магнитного поля, созданного возникшим в катушке индукционным током, входят в верхний конец катушки. При увеличении магнитного потока через витки катушки индукционный ток имеет такое направление, что создаваемое им магнитное поле препятствует нарастанию магнитного потока через витки катушки. Линии индукции \vec{B}' этого поля направлены против линий индукции \vec{B} поля, изменение которого порождает электрический ток.

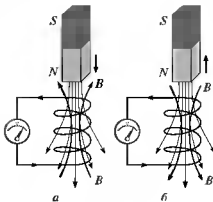


Рис. 3.8

Если магнитный поток через катушку ослабевает, то индукционный ток создает магнитное поле с индукцией \vec{B}' , увеличивающее магнитный поток через витки катушки.

Правило Ленца: возникающий в замкнутом контуре индукционный ток своим магнитным полем, противодействует тому изменению магнитного потока, которым он вызван.

Пример решения задачи. Прямоугольный контур $ABCD$ перемещается поступательно в магнитном поле тока, текущему по прямолинейному длинному проводнику (рис. 3.9). Определите направление тока, индуцированного в контуре, если контур удаляется от провода. Какие силы действуют на контур?

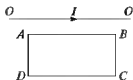


Рис. 3.9

Решение.

Вектор магнитной индукции \vec{B} магнитного поля тока I направлен перпендикулярно плоскости контура от нас. При удалении контура от провода магнитный поток через площадку $ABCD$ убывает. Следовательно, вектор магнитной индукции \vec{B}' магнитного поля тока I_i согласно правилу Ленца направлен от нас, как и вектор \vec{B} . Применяя правило буравчика, найдем, что индукционный ток в контуре направлен по часовой стрелке.

Взаимодействие тока в контуре с прямолинейным током приводит к появлению сил, действующих на проводники контура. Применив правило левой руки, можно выяснить, что эти силы, во-первых, растягивают рамку и, во-вторых, создают результирующую силу, направленную к прямолинейному проводнику. Оба действия стремятся воспрепятствовать уменьшению магнитного потока через контур.

3.3.2. Закон электромагнитной индукции. Вихревое электрическое поле

Закон электромагнитной индукции

ЭДС индукции в замкнутом контуре равна по модулю скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром:

$$\mathcal{E} = -\Delta\Phi/\Delta t.$$

Вихревое электрическое поле

Электроны в неподвижном проводнике приводятся в движение электрическим полем, и это поле непосредственно порождается переменным магнитным полем.

Фундаментальное свойство поля: изменяясь во времени, магнитное поле порождает электрическое поле.

Электрическое поле, возникающее при изменении магнитного поля, имеет совсем другую структуру, чем электростатическое. Оно не связано непосредственно с электрическими зарядами, и его линии напряженности не могут на них начинаться и заканчиваться. Они нигде не начинаются и не кончаются, а представляют собой замкнутые линии, подобные линиям индукции магнитного поля. Это так называемое **вихревое электрическое поле**.

Работа вихревого электрического поля при перемещении единичного положительного заряда вдоль замкнутого неподвижного проводника численно равна ЭДС индукции в этом проводнике.

Самоиндукция. Индуктивность

Самоиндукция — явление возникновения ЭДС индукции в том же самом проводнике, по которому идет переменный ток:

$$\Phi = L \cdot I,$$

где L — коэффициент пропорциональности между током в проводящем контуре и магнитным потоком, пронизывающим этот контур. Величину L называют **индуктивностью контура** или его **коэффициентом самоиндукции**.

Единицей индуктивности в СИ называют **генри (Гн)**.

Энергия магнитного поля тока:

$$W_m = \frac{LI^2}{2}.$$

Магнитное поле, созданное электрическим током, обладает энергией, прямо пропорциональной квадрату силы тока.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте понятие магнитного поля.
2. Перечислите свойства магнитного поля.
3. Что характеризует вектор магнитной индукции?
4. Сформулируйте правило буравчика.
5. Что называют линиями магнитной индукции?
6. Что такое сила Ампера?
7. Сформулируйте правило левой руки для нахождения направления силы Ампера.
8. Что такое сила Лоренца?
9. Сформулируйте правило левой руки для нахождения направления силы Лоренца.
10. Что характеризует магнитный поток?

Задачи

1. Сила тока в катушке нарастает прямо пропорционально времени. Каков характер зависимости силы тока от времени в другой катушке, индуктивно связанной с первой?

2. Магнитный поток через контур проводника сопротивлением $3 \cdot 10^{-2}$ Ом за 2 с изменился на $1,2 \cdot 10^{-2}$ Вб. Найдите силу тока в проводнике, если изменение потока происходило равномерно.

3.4. Электромагнитные колебания и волны

3.4.1. Электромагнитные колебания

Периодические или почти периодические изменения заряда, силы тока и напряжения называются **электромагнитными колебаниями**.

Для их наблюдения и исследования применяется прибор **электронный осциллограф**. В электронно-лучевой трубке осциллографа узкий пучок электронов попадает на экран, способный светиться. На горизонтально отклоняющиеся пластины трубки подается переменное напряжение U_p . Электрическое поле между пластинами заставляет электронный луч пробегать экран в горизонтальном направлении с постоянной скоростью и затем мгновенно возвращаться назад. После этого весь процесс повторяется. Если присоединить вертикально отклоняющиеся пластины трубки к конденсатору, то колебания напряжения при его разрядке вызовут колебания луча в вертикальном направлении.

Свободными колебаниями называются колебания в системе, которые возникают после выведения ее из положения равновесия (например, система выводится из равновесия при сообщении конденсатору заряда).

Вынужденными колебаниями называются колебания в цепи под действием внешней периодической электродвижущей силы (например, переменное ЭДС возникает в проволочной рамке, при вращении ее в однородном магнитном поле).

Колебательный контур — простейшая система, в которой могут происходить электромагнитные колебания. Он состоит из конденсатора и катушки, присоединенной к его обкладкам.

Уравнение, описывающее процессы в колебательном контуре:

$$q'' = -\frac{1}{CL}q,$$

где q' — вторая производная заряда по времени, L — индуктивность катушки, измеряемая в **единицах индуктивности — генри (Гн)**, C — емкость конденсатора, измеряемая в **единицах индуктивности — фарад (Ф)**.

Формула Томсона:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0}, \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}},$$

где T — период незатухающих собственных колебаний в колебательном контуре, ω_0 — циклическая частота свободных электрических колебаний.

Формула $T = 2\pi\sqrt{LC}$ называется *формулой Томсона* в честь английского физика У. Томсона, который ее впервые вывел для определения зависимости периода собственных электрических колебаний в контуре с его емкостью и индуктивностью.

Увеличение периода свободного колебания с ростом L и C наглядно можно пояснить так: при увеличении индуктивности ток медленнее нарастает со временем и медленнее падает до нуля; соответственно, чем больше емкость, тем большее время требуется для перезарядки конденсатора.

Гармонические колебания заряда и тока

Подобно тому, как координата при механических колебаниях изменяется со временем по гармоническому закону: $x = x_m \cos \omega_0 t$, заряд конденсатора меняется с течением времени по такому же закону: $q = q_m \cos \omega_0 t$, где q_m — амплитуда колебаний заряда.

Сила тока также совершает гармонические колебания:

$$i = q' = -\omega_0 q_m \sin \omega_0 t = I_m \cos \left(\omega_0 t + \frac{\pi}{2} \right),$$

где $I_m = q_m \omega_0$ — амплитуда колебаний силы тока.

Колебания силы тока опережают по фазе на $\pi/2$ колебания заряда.

3.4.2. Переменный электрический ток

Свободные электромагнитные колебания в контуре быстро затухают, и поэтому они практически не используются. Напротив, незатухающие вынужденные колебания имеют огромное практическое применение.

Переменный электрический ток в осветительной сети квартиры представляет собой вынужденные электромагнитные колебания. Сила тока и напряжение меняются по гармоническому закону.

Частота переменного тока — это число колебаний в 1 с.

Стандартная частота промышленного переменного тока равна 50 Гц. На протяжении одной секунды ток 50 раз течет в одну сторо-

ну и 50 раз — в противоположную. Переменное напряжение в гнездах розетки создается генераторами на электростанциях. Простейшая модель генератора — проволочная рамка, вращающаяся в постоянном однородном магнитном поле.

Трансформатор

Преобразование переменного тока, при котором напряжение увеличивается или уменьшается в несколько раз практически без потери мощности, осуществляется с помощью **трансформаторов**.

Трансформатор состоит из замкнутого стального сердечника, собранного из пластин, на который надеты две (иногда и более) катушки с проволочными обмотками. Одна из обмоток называемая *первичной*, подключается к источнику переменного напряжения. Другая обмотка, к которой присоединяют нагрузку, т.е. приборы и устройства, потребляющие электроэнергию, называется *вторичной*.

Активное сопротивление

Пусть цепь состоит из соединительных проводов и нагрузки с малой индуктивностью и большим сопротивлением. Это сопротивление называют **активным**, так как при наличии нагрузки, обладающей этим сопротивлением, цепь поглощает энергию, поступающую от генератора.

В проводнике с активным сопротивлением колебания силы тока по фазе совпадают с колебаниями напряжения, а амплитуда силы тока определяется равенством

$$I_m = \frac{U_m}{R}.$$

Действующие значения силы переменного тока и переменного напряжения

Величина равная квадратному корню из среднего значения квадрата силы тока, называется действующим значением силы переменного тока.

Действующее значение силы переменного тока равно силе постоянного тока, выделяющего в проводнике то же количество теплоты, что и переменный ток за то же время:

$$I = \sqrt{I^2} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}.$$

Действующее значение переменного напряжения определяют аналогично действующему значению силы тока:

$$U = \sqrt{u^2} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}.$$

Конденсатор в цепи переменного тока

Только переменный ток способен течь в цепи, содержащей конденсатор:

$$I = \frac{U}{X_c}.$$

Величину X_c , обратную произведению циклической частоты на электрическую емкость конденсатора, называют **емкостным сопротивлением**:

$$X_c = \frac{1}{\omega c}.$$

Катушка индуктивности в цепи переменного тока

Катушка индуктивности оказывает сопротивление переменному току:

$$I = \frac{U}{X_L}, \quad X_L = \omega L.$$

Величину X_L , равную произведению циклической частоты на индуктивность, называют **индуктивным сопротивлением**.

Резонанс в электрической цепи

Резонансом в электрическом колебательном контуре называется явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний силы тока при совпадении частоты внешнего переменного напряжения с собственной частотой колебательного контура:

$$\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Пример решения задачи. Катушка с индуктивным сопротивлением $X_L = 500$ Ом присоединена к источнику переменного напряжения, частота которого $\nu = 1000$ Гц. Действующее значение напряжения $U = 100$ В. Определите амплитуду силы тока I_m в цепи и индуктивность катушки L (активным сопротивлением катушки можно пренебречь).

Решение.

Индуктивное сопротивление катушки выражается формулой $X_L = \omega L = 2\pi\nu L$, отсюда $L = \frac{X_L}{2\pi\nu} = 0,08$ Гц. Так как амплитуда напряжения связана с его действующим значением соотношением $U_m = U\sqrt{2}$, то для амплитуды силы тока получаем

$$I_m = \frac{U_m}{X_L} = \frac{U\sqrt{2}}{X_L} = 0,28 \text{ А.}$$

3.4.3. Электромагнитные волны

Перемещение заряда меняет электрическое поле вблизи него. Это переменное электрическое поле порождает переменное магнитное поле в соседних областях пространства. Переменное же магнитное поле, в свою очередь, порождает переменное электрическое поле и т.д.

Процесс распространения электромагнитного возмущения, механизм которого был открыт Максвеллом, протекает с конечной, хотя и очень большой скоростью.

Представьте себе, что электрический заряд не просто сместился из одной точки в другую, а приведен в быстрые колебания вдоль некоторой прямой. Заряд движется подобно телу, подвешенному на пружине, но только колебания его происходят со значительно большей частотой. Тогда электрическое поле в непосредственной близости от заряда начнет периодически изменяться. Переменное электрическое поле будет порождать периодически меняющееся магнитное поле и т.д.

В окружающем заряд пространстве, захватывая все большие и большие области, возникает система взаимно перпендикулярных, периодически изменяющихся электрических и магнитных полей. На рисунке 3.10 изображен «моментальный снимок» такой системы полей на большом расстоянии от колеблющегося заряда.

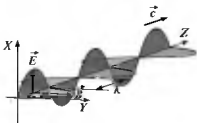


Рис. 3.10

Образуется так называемая электромагнитная волна, бегущая по всем направлениям от колеблющегося заряда. На разных расстояниях от заряда колебания происходят с различными фазами.

Колебания векторов \vec{E} и \vec{B} в любой точке совпадают по фазе. Расстояние между двумя ближайшими точками, в которых колебания происходят в одинаковых фазах, есть длина волны λ .

Электромагнитная волна образуется в результате быстрых колебаний электрического заряда вдоль прямой. Она является поперечной, так как направления колеблющихся векторов напряженности электрического поля \vec{E} и индукции магнитного поля \vec{B} перпендикулярны направлению распространения волны.

Наличие ускорения — главное условие излучения электромагнитных волн.

Открытый колебательный контур

Для получения электромагнитных волн Герц использовал вибратор, так называемый «диполь Герца». Это устройство представляет собой открытый колебательный контур.

К открытому контуру можно перейти от закрытого, если раздвигать пластины конденсатора, уменьшая их площадь и число витков в катушке. Получится просто прямой провод. Это и есть открытый колебательный контур. Для возбуждения колебаний в таком контуре во времена Герца поступали так. Провод разрезали посередине так, чтобы оставался небольшой воздушный промежуток, называемый искровым. Обе части проводника заряжали до высокой разности потенциалов. Проскакивала искра, цепь замыкалась, и в открытом контуре возникали колебания.

Колебания в открытом контуре затухают по двум причинам: вследствие наличия у контура активного сопротивления и потому что вибратор излучает электромагнитные волны, теряет при этом энергию.

Плотность потока электромагнитного излучения

Рассмотрим поверхность площадью S , через которую электромагнитные волны переносят энергию. *Лучи* — линии, перпендикулярные поверхностям, во всех точках которых, колебания происходят в одинаковых фазах. Такие поверхности называются *волновыми поверхностями*.

Плотностью потока электромагнитного излучения I называют отношение электромагнитной энергии ΔW , проходящей за время Δt через

перпендикулярную лучам поверхность площадью S , к произведению S на время Δt :

$$I = \frac{\Delta W}{S \Delta t},$$

где I — плотность потока или интенсивность волны.

Плотность потока излучения в СИ выражают в **ваттах на квадратный метр** ($\text{Вт}/\text{м}^2$).

Выразим I через плотность электромагнитной энергии и скорость ее распространения c . Объем цилиндра $\Delta V = Sc\Delta t$. Энергия электромагнитного поля внутри цилиндра равна произведению плотности энергии на объем: $wc\Delta tS$.

Плотность потока излучения равна произведению плотности электромагнитной энергии на скорость ее распространения:

$$I = \frac{wc\Delta tS}{S\Delta t} = wc.$$

Скорость электромагнитных волн $c \approx 300\,000\,000\text{ м/с}$.

Источники излучения электромагнитных волн могут быть весьма разнообразными. Простейшим является *точечный источник*. Источник излучения считается точечным, если его размеры много меньше расстояния, на котором оценивается его действие. Такой источник посылает электромагнитные волны по всем направлениям с одинаковой интенсивностью. Вибратор Герца не является точечным источником. Точечный источник — идеализация реальных источников. Звезды — это лучшая модель точечных источников.

Зависимость плотности потока излучения от расстояния до источника и от частоты

Выяснить зависимость плотности потока излучения от расстояния до источника можно, если поместить точечный источник в центр сферы радиусом R .

Площадь поверхности сферы $S = 4\pi R^2$.

Плотность потока излучения от точечного источника убывает обратно пропорционально квадрату расстояния до источника:

$$I = \frac{\Delta W}{S\Delta t} = \frac{\Delta W}{4\pi R^2 \Delta t} \frac{1}{R^2}.$$

Напряженность электрического поля и магнитная индукция электромагнитной волны пропорциональны ускорению излучающих

частиц. Ускорение при гармонических колебаниях пропорционально квадрату частоты, поэтому напряженность электрического поля и магнитная индукция пропорциональны квадрату частоты: $E \sim a \sim \omega^2$; $B \sim a \sim \omega^2$.

Плотность потока излучения I пропорциональна: $I \sim (E^2 + B^2)$, следовательно, $I \sim \omega^4$.

Плотность потока излучения пропорциональна четвертой степени частоты.

Свойства электромагнитных волн

Электромагнитные волны излучаются рупорной антенной в направлении оси рупора. Приемная антенна в виде такого же рупора улавливает волны, которые распространяются вдоль его оси.

1. Поглощение электромагнитных волн.

Располагают рупоры друг против друга и, добившись хорошей слышимости звука в громкоговорителе, помещают между рупорами различные диэлектрические тела. При этом замечают уменьшение громкости.

2. Отражение электромагнитных волн.

Если диэлектрик заменить металлической пластиной, то звук перестанет быть слышимым.

3. Преломление электромагнитных волн.

Электромагнитные волны изменяют свое направление на границе диэлектрика. Это можно обнаружить с помощью большой треугольной призмы из парафина. Рупоры располагают под углом друг к другу. Убирая призму или поворачивая ее, наблюдают исчезновение звука.

4. Поперечность электромагнитных волн.

Направления колеблющихся векторов напряженности электрического поля \vec{E} и индукции магнитного поля \vec{B} перпендикулярны направлению распространения волны.

Колебания напряженности электрического поля волны, выходящей из рупора, происходят в определенной плоскости, а колебания вектора магнитной индукции — в плоскости, ей перпендикулярной. Волны с определенным направлением колебаний называются поляризованными. Приемный рупор с детектором принимает только поляризованную в определенном направлении волну. Это можно обнаружить, повернув передающий или принимающий рупор на 90° . Звук при этом исчезает.

Поляризацию наблюдают, помещая между генератором и приемником решетку из параллельных металлических стержней. Решетку

располагают так, чтобы стержни были горизонтальными или вертикальными. Когда электрический вектор параллелен стержням, в них возбуждаются токи, в результате чего решетка отражает волны. Когда электрический вектор перпендикулярен стержням токи в них не возбуждаются и электромагнитная волна проходит.

Контрольные вопросы и задания

1. Что называют электромагнитными колебаниями?
2. Какой прибор применяют для наблюдения электромагнитных колебаний?
3. Что такое свободные и вынужденные колебания?
4. Что такое колебательный контур?
5. Назовите уравнение, описывающее процессы в колебательном контуре.
6. Назовите формулу Томсона.
7. Что представляет собой переменный электрический ток?
8. Из каких частей состоит генератор переменного тока?
9. Для каких целей применяют трансформатор? Из каких частей он состоит?
10. Что такое активное сопротивление? Чему оно равно?

Задачи

1. После того, как конденсатору колебательного контура был сообщен заряд $q_p = 10^{-5}$ Кл, в контуре возникли затухающие колебания. Какое количество теплоты выделится в контуре, к тому времени, когда колебания в нем полностью затухнут? Емкость конденсатора $C = 0,001$ мкФ.

2. Колебательный контур состоит из катушки индуктивностью $L = 0,003$ Гн и плоского конденсатора емкостью $C = 13,4$ пФ. Определите период свободных колебаний в контуре.

3.5. Оптика

3.5.1. Законы отражения и преломления света

Оптика занимается изучением света (более коротких электромагнитных волн).

Два способа передачи воздействий

Действие одного тела на другое может осуществляться двумя способами:

- 1) посредством переноса вещества от источника к приемнику. Например, можно заставить зазвенеть колокольчик, находящийся на некотором расстоянии, если попасть в него шариком;
- 2) посредством изменения состояния среды между телами. Можно привязать шнур к языку колокольчика и заставить колокольчик звучать, если посылать по шнуру волны, раскачивающие его язык. По веревке распространяется волна.

Корпускулярная и волновая теория света

В соответствии с двумя способами передачи воздействий возникли и начали развиваться две теории природы света.

Ньютон придерживался *корпускулярной теории света* (корпускула в переводе с латинского на русский означает «частица»). Свет — это поток частиц, идущих от источника во все стороны.

Гюйгенс придерживался *волновой теории света*. Свет — это волны, распространяющиеся в особой среде — эфире, заполняющем все пространство.

Свету присущ корпускулярно-волновой дуализм: при распространении свет ведет себя как волна, при излучении и поглощении свет ведет себя подобно потоку частиц.

Геометрической оптикой называется раздел оптики, в котором изучаются законы распространения световой энергии в прозрачных средах на основе представления о световом луче. Выделим световые пучки, а затем заменим эти пучки линиями, которые будут их осями. Эти линии называются световыми лучами.

Принцип Гюйгенса

Каждая точка среды, до которой дошло возмущение, сама становится источником вторичных волн.

Закон отражения света

Рассмотрим отражение плоской волны. Волна называется плоской, если поверхности равной фазы (волновые поверхности) представляют собой плоскости. На рисунке 3.11 MN — отражающая поверхность, прямые A_1A и B_1B — два луча падающей плоской волны (они параллельны друг другу). Плоскость AC — волновая поверхность этой волны.

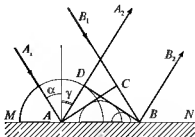


Рис. 3.11

Угол α между падающим лучом и перпендикуляром к отражающей поверхности в точке падения называют **углом падения**. Угол γ между перпендикуляром к отражающей поверхности и отраженным лучом называют **углом отражения**.

Закон отражения состоит из двух утверждений:

- 1) угол отражения равен углу падения: $\alpha = \gamma$,
- 2) падающий луч, луч отраженный и перпендикуляр, проведенный в точку падения, лежат в одной плоскости;

Обратимость хода световых лучей — их важное свойство.

Закон преломления света

1. Падающий луч, луч, преломленный и перпендикуляр, проведенный в точку падения, лежат в одной плоскости (рис. 3.12).

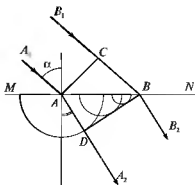


Рис. 3.12

2. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления есть величина постоянная для двух сред:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = n,$$

где n — относительный показатель преломления (показатель преломления второй среды относительно первой).

Показатель преломления среды относительно вакуума называют абсолютным показателем преломления этой среды.

Можно выразить относительный показатель преломления через абсолютные показатели преломления n_1 и n_2 первой и второй сред:

$$n = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Среду с меньшим абсолютным показателем преломления принято называть **оптически менее плотной средой**.

Полное отражение

В случае перехода луча из оптически более плотной среды в оптически менее плотную среду существует такой угол падения, при котором преломленный луч скользит по границе раздела сред с разной оптической плотностью. При этом угол преломления равен 90° . Такой угол падения называется **предельным углом полного отражения** α_0 :

$$\sin \alpha_0 = \frac{1}{n}.$$

3.5.2. Линзы. Построение изображений

Прозрачное тело, ограниченное сферическими поверхностями, называется **линзой**.

Виды линз

Линзы, которые посередине толще, чем у краев называются **выпуклыми**.

Линза может быть ограничена двумя выпуклыми сферическими поверхностями. Это *двояковыпуклая* линзы. Может быть ограничена выпуклой сферической поверхностью и плоскостью. Это *плосковыпуклая* линза. Может быть ограничена выпуклой и вогнутой сферическими поверхностями. Это *вогнуто-выпуклая* линза.

Линзы, которые посередине тоньше, чем у краев, называются **вогнутыми**.

Линза называется **тонкой**, когда толщина линзы $l = AB$ пренебрежимо мала по сравнению с радиусами поверхностей линзы и расстоянием предмета от линзы (рис. 3.13).

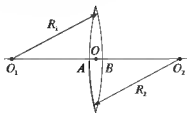


Рис. 3.13

Точки A и B — вершины сферических сегментов — в тонкой линзе расположены столь близко друг от друга, что их можно принять за одну точку, которую называют **оптическим центром линзы** и обозначают буквой O .

Прямую O_1O_2 , проходящую через центры сферических поверхностей, которые ограничивают линзу, называют ее **главной оптической осью**. Главная оптическая ось тонкой линзы проходит через оптический центр. Любую другую прямую, проходящую через оптический центр, называют **побочной оптической осью**.

Изображение в линзе

Если по выходе из линзы лучи сходятся, они образуют **действительное изображение**, а если — расходятся, то **мнимое изображение**.

Выпуклые линзы являются **собирающими**. Точка, в которой пересекаются после преломления в собирающей линзе лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси, называется **главным фокусом F линзы**.

Пучки, параллельные главной оптической оси, можно направить на линзу и с противоположной стороны. Точка, в которой они сойдутся, пройдя линзу, будет другим главным фокусом.

Вогнутые линзы являются **рассеивающими**.

Величину, обратную фокусному расстоянию называют **оптической силой линзы D** :

$$D = \frac{1}{F},$$

D выражают в диоптриях (дптр).

Построение изображения в линзе

Для построения изображения пользуются тремя видами «удобных лучей»:

- 1) лучи, параллельные главной оптической оси, преломившись в линзе, проходят через ее фокус;
- 2) лучи, идущие к линзе через ее фокус, после преломления пойдут параллельно главной оптической оси;
- 3) лучи, проходящие через оптический центр линзы, не меняют своего направления.

Пример. Необходимо построить изображение предмета AB (рис. 3.14).

Чтобы найти изображение точки A , направим луч AC параллельно главной оптической оси. После преломления он пойдет через фокус линзы. Другой луч — AD — можно направить через фокус. После преломления он пойдет параллельно главной оптической оси. В точке пересечения этих двух преломленных лучей будет находиться изображение A_1 точки A .

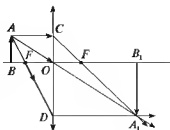


Рис. 3.14

Формула тонкой линзы

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F},$$

где d — расстояние от линзы до предмета, f — расстояние от изображения до линзы, F — фокусное расстояние.

Если линза собирающая, то ее фокус действительный $\frac{1}{F}$, если линза рассеивающая, то $-\frac{1}{F}$.

Линейное увеличение линзы

Линейным увеличением линзы (Γ) называют отношение линейного размера изображения к линейному размеру предмета:

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}.$$

Пример решения задачи. Изображение предмета имеет высоту $H = 2$ см. Какое фокусное расстояние F должна иметь линза, располо-

женная от экрана на расстоянии $f = 4$ м, чтобы изображение указанного предмета на экране имело высоту $h = 1$ м.

Решение.

Из формулы линзы $\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F}$ находим фокусное расстояние $F = \frac{df}{d+f}$.

Увеличение линзы выражается так: $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$. Отсюда $d = \frac{hf}{H}$, поэтому

$$F = \frac{hf}{H+h} \approx 8 \text{ см.}$$

Контрольные вопросы и задания

1. Какие способы передачи воздействий вы знаете?
2. Что представляет собой корпускулярно-волновой дуализм?
3. Что называется геометрической оптикой?
4. Сформулируйте принцип Гюйгенса.
5. Сформулируйте закон отражения света.
6. Сформулируйте закон преломления света.
7. Какую среду называют оптически менее плотной средой?
8. Перечислите виды линз.
9. Какую прямую называют главной оптической осью, а какую побочной оптической осью?
10. Какие линзы являются собирающими, а какие рассеивающими?

Задачи

1. Изображение миллиметрового деления шкалы, расположенной перед линзой на расстоянии $d = 12,5$ см, имеет на экране длину $L = 2,4$ см. Каково фокусное расстояние линзы?

2. Постройте изображение предмета, помещенного перед собирающей линзой, в следующих случаях: 1) $d > 2F$; 2) $d = 2F$; 3) $F < d < 2F$; 4) $d < F$.

ГЛАВА 4. СТРОЕНИЕ АТОМА И КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

4.1. Квантовая физика и атомная физика

4.1.1. Квантовая гипотеза Планка.

Фотоэффект. Фотоны

Немецкий физик Макс Планк (1858—1947) предположил, что атомы испускают электромагнитную энергию отдельными порциями — *квантами*. Энергия каждой порции прямо пропорциональна частоте излучения: $E = h\nu$, где коэффициент пропорциональности h получил название **постоянной Планка**:

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

Предположение Планка означало, что законы классической физики совершенно неприменимы к явлениям микромира.

В развитии представлений о природе света важный шаг был сделан при изучении одного замечательного явления, открытого Г. Герцем и тщательно исследованного выдающимся русским физиком Александром Григорьевичем Столетовым (1839—1896). Явление это получило название фотоэффекта.

Фотоэффект — это вырывание электронов из вещества под действием света.

Для обнаружения фотоэффекта можно использовать электрометр с присоединенной к нему цинковой пластиной. Если зарядить пластину положительно, то ее освещение, например электрической дугой, не влияет на быстроту разрядки электрометра. Но если пластину зарядить отрицательно, то световой пучок от дуги разряжает электрометр очень быстро. Объяснить это можно так. Свет вырывает электроны с поверхности пластины. Если она заряжена отрицательно, электроны отталкиваются от нее и электрометр разряжается. При положительном же заряде пластины вырванные светом электроны притягиваются к пластине и снова оседают на ней, поэтому заряд электрометра не изменяется.

Законы фотоэффекта

1. Количество электронов, вырываемых светом с поверхности металла за 1 с, прямо пропорционально поглощаемой за это время энергии световой волны.

Теперь остановимся на измерении кинетической энергии (или скорости) электронов.

Задерживающее напряжение U_s зависит от максимальной кинетической энергии, которую имеют вырванные светом электроны. Изменяя задерживающее напряжение и применяя теорему о кинетической энергии, можно найти максимальное значение кинетической энергии электронов:

$$\frac{mv^2}{2} = eU_s.$$

При изменении интенсивности (плотности потока) света задерживающее напряжение не меняется. Значит, не меняется и кинетическая энергия электронов

2. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света и не зависит от его интенсивности.

Теория фотоэффекта. Уравнение Эйнштейна

Объяснение фотоэффекта было дано в 1905 г. Альбертом Эйнштейном (1879—1955), развившим идеи Планка о прерывистом испускании света. В экспериментальных законах фотоэффекта Эйнштейн увидел доказательство того, что свет имеет прерывистую структуру и поглощается отдельными порциями.

Явление фотоэффекта показало, что свет имеет прерывистую структуру: излученная порция световой энергии $E = h\nu$ сохраняет свою индивидуальность и в дальнейшем.

Кинетическую энергию фотоэлектрона можно найти, применив закон сохранения энергии. Энергия порции света $h\nu$ идет на совершение работы выхода A , т.е. работы, которую нужно совершить для извлечения электрона из металла, и на сообщение электрону кинетической энергии. Следовательно,

$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2},$$

где A — работа выхода

Это уравнение называют **уравнением Эйнштейна для фотоэффекта**.

Для каждого вещества фотоэффект наблюдается лишь в том случае, если частота света больше минимального значения $\nu_{\text{мин}}$. Чтобы вырвать электрон из металла даже без сообщения ему кинетической энергии, нужно совершить работу выхода A . Энергия кванта должна быть больше этой работы:

$$h\nu > A.$$

Предельную частоту $\nu_{\text{мин}}$ называют **красной границей фотоэффекта**. Она выражается так:

$$\nu_{\text{мин}} = \frac{A}{h}.$$

Предельная частота фотоэффекта для разных вещества различна. Для цинка красной границе соответствует длина волны $\lambda_{\text{мин}} = 3,7 \cdot 10^{-7} \text{ м}$.

Фотоны

Свойства света, обнаруживаемые при излучении и поглощении, называют *корпускулярными*. Сама же световая частица была названа *фотоном*, или *квантом*, электромагнитного излучения.

Фотон обладает определенной порцией энергии. Энергию фотона часто выражают через циклическую частоту: $E = h\nu = \hbar\omega$, где $\hbar = 1,0545726 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$ (\hbar — читается «аш с чертой»).

Согласно **теории относительности**, энергия всегда связана с массой соотношением

$$E = mc^2.$$

$E = h\nu$, $E = mc^2$. Левые части равны, приравняем правые и найдем массу фотона:

$$m = \frac{h\nu}{c^2}.$$

По известной массе и скорости фотона можно найти его импульс:

$$p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

Фотон, или **квант**, — световая элементарная частица, лишенная массы покоя и электрического заряда, но обладающая энергией и импульсом.

С помощью фотоэффекта «заговорило» кино и стало возможной передача движущихся изображений (телевидение).

4.1.2. Строение атома. Опыты Резерфорда

Модель Томсона

По мысли Джозефа Томсона (1856—1940), положительный заряд атома занимает весь объем атома и **распределен** в этом объеме с по-

стоянной плотностью. Атом подобен кексу, в котором роль изюминок играют электроны (неверное представление).

Опыты Резерфорда

Для экспериментального исследования распределения положительного заряда, а значит и массы внутри атома, Эрнест Резерфорд (1871—1937) предложил в 1906 г. применить зондирование атома с помощью α -частиц. Эти частицы возникают при распаде радия и некоторых других элементов. Их масса примерно в 8000 раз больше массы электрона, а положительный заряд равен по модулю удвоенному заряду электрона. Скорость α -частиц очень велика. Она составляет $1/15$ скорости света.

Опыт Резерфорда: радиоактивный препарат, например радий, помещался внутри свинцового цилиндра, вдоль которого был высверлен узкий канал. Пучок α -частиц из канала падал на тонкую фольгу из исследуемого материала (золото, медь). После рассеяния α -частицы попадали на полупрозрачный экран, покрытый сульфидом цинка. Столкновение каждой частицы с экраном сопровождалось вспышкой света (*сцинтилляцией*), которую можно было наблюдать в микроскоп. Весь прибор размещался в сосуде, из которого был откачан воздух.

При хорошем вакууме внутри прибора в отсутствие фольги на экране возникал светлый кружок. Когда на пути пучка помещали фольгу, α -частицы из-за рассеяния распределялись на экране по кружку большей площади.

Из опытов Резерфорда вытекает *планетарная модель атома*. В центре расположено положительно заряженное атомное ядро, в котором сосредоточена почти вся масса атома. **Атомное ядро** — тело малых размеров, в котором сконцентрирована почти вся масса и весь положительный заряд атома. В целом атом нейтрален, поэтому число внутриатомных электронов, как и заряд ядра, равно порядковому номеру элемента в периодической системе. Электроны движутся вокруг ядра, подобно тому, как планеты обращаются вокруг Солнца.

В атоме водорода вокруг ядра обращается всего лишь один электрон. Ядро атома водорода имеет положительный заряд, равный по модулю заряду электрона, и массу, примерно в 1836,1 раза большую массы электрона. Это ядро было названо **протоном** и стало рассматриваться как *элементарная частица*.

Квантовые постулаты Бора

Нильс Бор (1885—1962) — великий датский физик. Создал **первую квантовую теорию атома** и затем принял самое активное участие в разработке квантовой механики.

Первый постулат Бора гласит: атомная система может находиться только в особых стационарных, или квантовых, состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия; в стационарном состоянии атом не излучает.

Второй постулат Бора: излучение света происходит при переходе атома из стационарного состояния с большей энергией E_k в стационарное состояние с меньшей энергией E_n . Энергия излученного фотона равна разности энергий стационарных состояний:

$$h\nu_{kn} = E_k - E_n.$$

4.2. Строение атомного ядра

4.2.1. Радиоактивность. Строение атомного ядра

Физик Антуан Анри Беккерель (1852—1908) завернул фотопластинку в плотную черную бумагу, положил сверху крупинки урановой соли и выставил на яркий солнечный свет. После проявления пластинка почернела на тех участках, где лежала соль. Следовательно, уран создавал какое-то излучение, которое, подобно рентгеновскому, пронизывает непрозрачные тела и действует на фотопластинку. Беккерель думал, что это излучение возникает под влиянием солнечных лучей. Но однажды в феврале 1896 г. провести очередной опыт ему не удалось из-за облачной погоды. Беккерель убрал пластинку в ящик стола, положив на нее медный крест, покрытый солью урана. Проявив на всякий случай пластинку два дня спустя, он обнаружил на ней почернение в форме отчетливой тени креста. Это означало, что соли урана самопроизвольно, без каких-либо внешних влияний, создают какое-то излучение.

В 1898 году Мария Склодовская-Кюри (1867—1934), Пьер Кюри (1859—1906) во Франции и другие ученые обнаружили излучение тория. Выделили новый химический элемент — *полоний*.

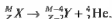
Наконец, был открыт еще один элемент, дающий очень интенсивное излучение. Его назвали *радием*. Само же явление самопроизвольного излучения было названо супругами Кюри **радиоактивностью**.

Радиоактивность представляет собой самопроизвольное превращение одних ядер в другие, сопровождаемое испусканием различных частиц.

Правило смещения

Преобразование ядер подчиняются так называемому **правилу смещения**, сформулированному впервые Фредериком Содди (1877—1956): при α -распаде ядро теряет положительный заряд $2e$ и масса его убывает приблизительно на четыре атомные единицы массы. В результате элемент смещается на две клетки к началу периодической системы.

Символически это можно записать так:



При β -распаде из ядра вылетает электрон. В результате заряд ядра увеличивается на единицу, а масса остается почти неизменной:



Здесь ${}^0_{-1} e$ обозначает электрон: индекс «0» вверху означает, что масса его очень мала по сравнению с атомной единицей массы. β -распада элемент смещается на одну клетку ближе к концу периодической системы.

Закон радиоактивного распада

Резерфорд, исследуя превращения радиоактивных веществ, установил опытным путем, что их активность убывает с течением времени.

Период полураспада T — это то время, в течение которого распадается половина наличного числа радиоактивных атомов:

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}},$$

где N_0 — число радиоактивных атомов в начальный момент времени.

Это и есть **основной закон радиоактивного распада**. По этой формуле находят число нераспавшихся атомов в любой момент времени.

Протонно-нейтронная модель ядра

Согласно протонно-нейтронной модели ядра состоит из элементарных частиц двух видов протонов и нейтронов.

Так как в целом атом электрически нейтрален, а заряд протона равен модулю заряда электрона, то число протонов в ядре равно числу электронов в атомной оболочке. Следовательно, число протонов в ядре равно атомному номеру элемента Z в периодической системе элементов Д. И. Менделеева.

Сумму числа протонов Z и числа нейтронов N в ядре называют **массовым числом** и обозначают буквой A :

$$A = Z + N.$$

Изотопы представляют собой ядра с одним и тем же значением Z , но различными массовыми числами A , т.е. с различным числом нейтронов N .

Энергия связи атомных ядер

Под энергией связи ядра понимают ту энергию, которая необходима для полного расщепления ядра на отдельные нуклоны. Нуклонами часто называют ядерные частицы — протоны и нейтроны.

Энергия связи равна той энергии, которая выделяется при образовании ядра из отдельных частиц: $E = mc^2$.

Масса покоя ядра всегда меньше суммы масс покоя слагающих его протонов и нейтронов: $M_n < Zm_p + Nm_n$.

Существует дефект масс — разность масс положительна:

$$\Delta M = Zm_p + Nm_n - M_n, \quad E_{\text{св}} = \Delta Mc^2.$$

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое фотоэффект?
2. Сформулируйте законы фотоэффекта.
3. Что такое фотон?
4. Назовите формулы энергии, массы и импульса фотона.
5. Что представляет собой модель Томсона?
6. В чем заключается опыт Резерфорда?
7. Сформулируйте постулаты Бора.
8. Что такое радиоактивность?
9. Сформулируйте правило смещения.
10. Назовите формулу, которая выражает закон радиоактивного распада.

Задачи

1. Определите энергию фотона, соответствующую длине волны $\lambda = 5,0 \cdot 10^{-7}$ м.

2. Каковы скорость v и ускорение a электрона на первой боровской орбите, радиус которой определяется формулой $r_n = \frac{\hbar^2}{kme^2}$, где m и e — соответственно масса и заряд электрона; $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$?

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ К РАЗДЕЛУ «ФИЗИКА»

№ 1. Исследование зависимости силы трения скольжения от веса тела

Силы реакции опоры

Цель работы: выяснить, как зависит сила трения скольжения от веса тела.

Оборудование и материалы: динамометр, деревянный брусок, деревянная линейка, набор грузов.

Ход работы

1. Определите цену деления шкалы динамометра.
2. Положите брусок на горизонтально расположенную деревянную линейку. На брусок поставьте груз.
3. Прикрепив к бруску динамометр, как можно более равномерно тяните его вдоль линейки. Запишите показания динамометра, это и есть величина силы трения скольжения.
4. К первому грузу добавьте второй, третий, четвертый грузы, каждый раз измеряя силу трения. С увеличением числа грузов растёт вес.
5. Результаты измерений занесите в таблицу.

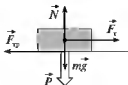
№ опыта	Количество грузов	Сила трения, Н
1	1	0,2
2	2	0,4
3	3	0,6

6. Сделайте вывод: как зависит сила трения скольжения от веса тела?

Сила трения. Измерение коэффициента трения

Цель работы: Исследовать силу трения. Измерить коэффициент трения скольжения и сделать вывод, зависит ли коэффициент трения скольжения от веса, от рода трущихся поверхностей.

Оборудование и материалы: динамометр, набор грузов по 100 г (3 шт.).

Актуализация знаний по теме «Сила трения. Коэффициент трения»

Разделяют *три вида силы трения*:

- сила трения покоя возникает когда на тело действует сила, но при этом тело не совершает перемещения. Сила трения покоя равна по модулю и направлена противоположно силе, приложенной к покоящемуся телу параллельно поверхности соприкосновения его с другим телом;
- сила трения качения возникает при движении идеально твердых тел, одно из которых катится по поверхности другого;
- сила трения скольжения возникает когда одно тело скользит относительно другого. Направление силы трения скольжения противоположно направлению движения тела:

$$F_{\text{тр}} = \mu N, \quad (1)$$

где μ — коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом трения он всегда меньше единицы, N — сила реакции опоры.

Сила реакции опоры N всегда по модулю равна весу P и направлена в противоположную сторону. В случае равномерного движения по поверхности вес равен силе тяжести тела:

$$|N| = |P| = mg. \quad (2)$$

При равномерном движении сила трения по модулю равна силе тяги в соответствии с третьим законом Ньютона:

$$|F_{\text{тр}}| = |F_{\text{т}}|. \quad (3)$$

Для определения коэффициента трения μ используют формулу (1). Сила трения находится через формулу (3), а сила реакции опоры через формулу (2):

$$\mu = \frac{F_{\text{тр}}}{N}.$$

Ход работы

1. Нарисуйте отчетную таблицу.
2. Определить вес бруска при помощи динамометра, и запишите силу реакции опоры в отчетную таблицу.

3. Двигая брусок равномерно по столу, определите силу тяги с помощью динамометра.

4. На основе формулы (3) запишите силу трения в отчетную таблицу.

5. Вычислите коэффициент трения для первого опыта.

6. На брусок установите груз 100 г и повторите весь опыт. Данные занесите в таблицу.

7. Повторите опыт еще два раза, каждый раз, добавляя по 100 г.

8. Постройте графики зависимости силы трения от веса и коэффициента трения от веса

9. Повторите эксперимент с бруском, заменив поверхность стола на поверхность пола. Определите силу трения для двух случаев.

10. Сделайте вывод. зависит ли сила трения от веса тела. от рода поверхности.

Трение по столу

№	N, H	$F_{\text{тр}}, H$	μ
1	1	0,2	
2	2	0,4	
3	3	0,6	
4	4	0,8	

Трение по полу

№	N, H	$F_{\text{тр}}, H$	μ
1	1	0,3	
2	2	0,6	
3	3	0,8	
4	4	1,2	

Контрольные вопросы

1. Чем отличается сила трения покоя от силы трения скольжения и от силы трения качения?
2. Как можно уменьшить силу трения скольжения?
3. От чего зависит коэффициент трения?
4. При каких обстоятельствах возникает сила трения покоя?
5. Как направлена сила трения покоя?

№ 2. Изучение зависимости периода колебаний пружинного маятника от массы груза и жесткости пружины

Цель работы: выяснить, как зависит период колебаний пружинного маятника от массы груза и жесткости пружины.

Оборудование и материалы: набор пружин с разной жесткостью, набор грузов, массой 100 г, секундомер.

Ход работы

1. Закрепить пружину в штативе и подвесить к ней один груз.
2. Измерить время десяти колебаний.
3. Вычислить период.
4. Повторить опыт, меняя число подвешенных грузов.
5. Оставив один груз и меняя пружины разной жесткости, изменить период колебаний груза.
6. Все измерения и вычисления занести в таблицу.

k — постоянная величина					m — постоянная величина				
№ опыта	Число колебаний N	Время колебаний t , с	Период колебаний T , с	Масса груза m , кг	№ опыта	Число колебаний N	Время колебаний t , с	Период колебаний T , с	Жесткость пружины k , Н/м
1	10			0,1	1	10			10
2	10			0,2	2	10			20
3	10			0,3	3	10			30
4	10			0,4	4	10			40

7. Сделайте вывод о том, как зависит период колебаний груза от массы подвешенного груза и от жесткости пружины.

8. Рассчитайте период для каждого случая дважды и сравните:

$$T = \frac{t}{N}; \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

№ 3. Изменение температуры вещества в зависимости от времени при изменениях агрегатных состояний

Цель работы:

- пронаблюдать, описать и объяснить процессы при нагревании и кипении воды;
- построить график зависимости температуры воды от времени.

Оборудование и материалы: сосуд с холодной водой, плитка, штатив с муфтой и лапкой, термометр, часы с секундной стрелкой (секундомер).

Ход работы

1. Собрать установку для нагревания воды, поставив сосуд с водой на плитку и опустив в воду термометр, предварительно закрепленный в лапке штатива. Термометр не должен касаться дна сосуда.

2. Включить плитку и начать наблюдения за всем, что происходит в сосуде с водой. Параллельно производить измерения температуры воды. Когда вода закипит, замеры продолжить еще 3–5 мин.

4. Результаты наблюдения записать в таблицу.

Время t , с	Температура t , °С	Что наблюдали?
1	25	
2	35	
3	45	
4	55	
5	65	
6	75	
7	85	
8	85	
9	95	
10	100	
11	100	
12	100	

5. В отчете построить график зависимости температуры воды в сосуде от времени и объяснить наблюдаемые явления.

Объяснить наблюдение в моменты времени $t = 10$ с; 11 с; 12 с.

№ 4. Сборка электрической цепи и измерение силы тока и напряжения на ее различных участках

1. Сборка электрической цепи и измерение силы тока на ее различных участках

Цель работы:

- овладеть приемами сборки электрической цепи, составленной из последовательно соединенных элементов;
- убедиться на опыте, что сила тока в различных последовательно соединенных участках цепи одинакова.

Оборудование и материалы: источник тока, низковольтная лампа на подставке, ключ, амперметр, соединительные провода, металлический планшет.

Ход работы

1. Нарисуйте в тетради схему электрической цепи, изображенной на рис. 1. Соберите эту электрическую цепь. Сборку удобнее начинать от положительного полюса источника питания. Замкните ключ. По отклонению стрелки амперметра и свечению лампочки убедитесь в том, что собранная цепь работает. Запишите показания амперметра рядом с нарисованной схемой 1.



Рис. 1

2. Нарисуйте в тетради схему электрической цепи, изображенной на рис. 2. Соберите эту электрическую цепь. Запишите показания амперметра рядом с нарисованной схемой 2.

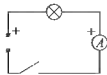


Рис. 2

3. Нарисуйте в тетради схему электрической цепи, изображенной на рис. 3. Соберите эту электрическую цепь. Запишите показания амперметра рядом с нарисованной схемой 3.

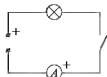


Рис. 3

4. Укажите, чем отличаются схемы друг от друга. Сравните значения силы тока, полученные в трех опытах, и сделайте вывод о величине силы тока в различных участках последовательной цепи.

5. Расставьте полюсы во всех схемах.

2. Измерение напряжения на различных участках электрической цепи

Цель работы: измерить напряжение на участке цепи, состоящем из двух последовательно соединенных сопротивлений, и сравнить его с напряжением на конце каждого сопротивления.

Оборудование и материалы: проволочные резисторы R_1 и R_2 , вольтметр, ключ, соединительные провода, металлический планшет, источник тока (можно использовать батарейку 4,5 В).

Ход работы

1. Соберите электрическую цепь по схеме (рис. 1). Подключите вольтметр параллельно сопротивлению R_1 (рис. 2). Запишите показания вольтметра: U_1 .

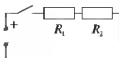


Рис. 1

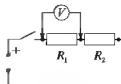


Рис. 2

2. Подключите вольтметр параллельно сопротивлению R_2 (рис. 3). Запишите показания вольтметра: U_2 .

3. Подключите вольтметр параллельно сопротивлению R_1 и R_2 (рис. 4). Запишите показания вольтметра: U .

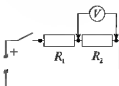


Рис. 3

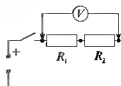


Рис. 4

4. Вычислите $U_1 + U_2 = \dots$ и сравните эту величину с U . Сделайте вывод.

Вывод: ...

5. Расставьте полюсы на схемах.

№ 5. Изучение интерференции и дифракции света

Цель работы:

- применить теоретические знания для объяснения явлений природы;
- способствовать формированию интереса к физике и процессу научного познания;
- способствовать расширению кругозора учащихся, развитию умения делать выводы по результатам эксперимента.

Оборудование и материалы: лампа с прямой нитью накала, кольцо проволочное с ручкой; стакан с мыльным раствором; пластинки стеклянные, штангенциркуль, ткань капроновая (100×100 мм).

Интерференционная картина — регулярное чередование областей повышенной и пониженной интенсивности света.

Проводится наблюдение интерференции в затемненном классе на плоской мыльной пленке при монохроматическом освещении.

А. Наблюдение явления интерференции света на мыльной пленке

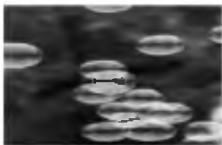
Оборудование и материалы: стакан с раствором мыла, кольцо проволочные с ручкой диаметром 30 мм.

Ход работы

1. На проволочном кольце получаем мыльную пленку и располагаем ее вертикально.
2. Наблюдаем светлые и темные горизонтальные полосы, изменяющиеся по ширине по мере изменения толщины пленки. Объясните наблюдение.
3. Освещаем мыльную пленку белым светом (от лампы).
4. Наблюдаем окрашенность светлых полос в спектральные цвета: сверху — синий, внизу — красный. Объясните наблюдение.
5. Наблюдаем также, что полосы, расширяясь и сохраняя свою форму, перемещаются вниз.

Б. Наблюдение интерференции света на мыльном пузыре

Цель работы: объяснить образование радужных колец.



Ход работы

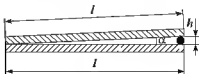
Выдувание мыльных пузырей.

В. Наблюдение интерференции света на воздушной пленке

Цель работы: объяснить интерференцию света.

Ход работы

1. Чистые стеклянные пластинки надо сложить вместе и сжать пальцами.
2. Пластинки рассматривают в отраженном свете на темном фоне.
3. Наблюдаем в некоторых местах яркие радужные кольцеобразные или замкнутые неправильной формы полосы.
4. Измените нажим и пронаблюдайте изменение расположения и формы полос. Объясните наблюдение.



Г. Наблюдение дифракции света на узкой щели

Цель работы: объяснение дифракции света.

Оборудование: штангенциркуль.

Ход работы

1. Сдвигаем ползунок штангенциркуля до образования между губками щели шириной 0,5 мм.
2. Приставляем скошенную часть губок вплотную к глазу (располагая щель вертикально).
3. Сквозь эту щель смотрим на вертикально расположенную нить горячей лампы.
4. Наблюдаем по обе стороны от нити параллельные ей радужные полосы.
5. Изменяем ширину щели в пределах 0,05—0,8 мм. При переходе к более узким щелям полосы раздвигаются, становятся шире и образуют различимые спектры. При наблюдении через самую широкую щель полосы очень узки и располагаются близко одна к другой.
6. Зарисуйте в тетрадь увиденную картину.

Д. Наблюдение дифракции света на капроновой ткани

Цель работы: объяснение дифракции света на материале.

Оборудование и материалы: лампа с прямой нитью накала, ткань капроновая размером 100×100 мм.

**Ход работы**

1. Смотрим через капроновую ткань на нить горячей лампы.
2. Наблюдаем «дифракционный крест» (картина в виде двух скрещенных под прямым углом дифракционных полос).
3. Зарисуйте в тетрадь увиденную картину (дифракционный крест).
4. Объясните наблюдение. Ответьте на поставленные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Что такое свет?
2. Кем было доказано, что свет — это электромагнитная волна?
3. Какова скорость света в вакууме?
4. Кто открыл интерференцию света?
5. Чем объясняется радужная окраска тонких интерференционных пленок?
6. Могут ли интерферировать световые волны, идущие от двух электрических ламп накаливания? Почему?
7. Почему толстый слой нефти не имеет радужной окраски?
8. Зависит ли положение главных дифракционных максимумов от числа щелей решетки?
9. Почему видимая радужная окраска мыльной пленки все время меняется?

РАЗДЕЛ II

ХИМИЯ С ЭЛЕМЕНТАМИ ЭКОЛОГИИ

ГЛАВА 5. ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ПРЕВРАЩЕНИЯ ВЕЩЕСТВ

5.1. Основные понятия химии

Химией называется наука о веществах, закономерностях их превращений и применении. В настоящее время известно более 100 тыс. неорганических и более 4 млн органических соединений.

Вещество и поле — две формы существования материи.

Веществом называется особая форма существования материи, которая характеризуется собственной массой, т.е. массой покоя. Химия изучает главным образом вещество, организованное в атомы, молекулы, ионы и радикалы.

Поле — форма существования материи, которая тесно связана с энергией. Посредством поля осуществляется взаимодействие между частицами вещества. Неотъемлемым свойством материи является движение.

Все вещества состоят из молекул.

Молекула — наименьшая частица вещества, обладающая его химическими свойствами. По современному определению, **молекула** — это электронейтральная совокупность атомов, связанных химическими связями согласно их валентности. Молекулы в свою очередь состоят из атомов.

Атом — наименьшая частица химического элемента, сохраняющая все его химические свойства. Атом также можно охарактеризовать как электронейтральную систему взаимодействующих элементарных частиц, состоящую из ядра (образованного протонами и нейтронами) и электронов.

Характеристики электрона: масса покоя $9,11 \cdot 10^{-31}$ кг, заряд $-1,6022 \times 10^{-19}$ Кл (или в относительных единицах -1).

Протон Z имеет положительный заряд, равный по абсолютной величине заряду электрона ($+1,6022 \cdot 10^{-19}$ Кл) и массу $1,007276$ а. е. м.

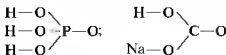
Нейтрон N — элементарная, не имеющая заряда, частица с массой $1,008665$ а. е. м. Заряд ядра определяется числом входящих в него протонов. В ядрах атомов одного и того же элемента число нейтронов N может изменяться, что приводит к изменению массового числа. Атомы одного и того же элемента, имеющие различные массовые числа, называются **изотопами**. Примером являются изотопы водорода: ${}^1_1\text{H}$ (протий), ${}^2_1\text{H}$ (дейтерий), ${}^3_1\text{H}$ (тритий).

Химический элемент — это вид атомов, характеризующийся определенными зарядами ядер и строением электронных оболочек. Каждый элемент имеет свое название и свой символ. Наименование и символ позволяют, как уже было сказано, описать состав любого вещества химической формулой. Символы химических элементов приведены в периодической таблице Д.И. Менделеева.

Различают **простые** и **сложные вещества**. Простые вещества состоят из атомов одного и того же элемента: H_2 , S , Fe . Молекулы сложных веществ состоят из атомов различных химических элементов: H_2O , H_2SO_4 . Простые вещества могут существовать в нескольких аллотропных формах.

Аллотропия — явление образования химическим элементом нескольких простых веществ, различающихся по строению и свойствам. Причиной аллотропии может быть различное строение кристаллической решетки (алмаз и графит), а также различное количество атомов в молекуле (кислород O_2 и озон O_3).

Химические свойства вещества характеризуют их способность участвовать в химических реакциях, т.е. в превращениях одних веществ в другие. Для понимания этих свойств необходимо знать не только состав, но и строение веществ. Качественный и количественный состав вещества отражается химической формулой: H_3PO_4 , NaHCO_3 . При написании химических формул используют символы химических элементов. Цифры, указывающие число атомов, называются индексами, в молекуле фосфорной кислоты H_3PO_4 индексами являются цифры 3 (число атомов водорода) и 4 (число атомов кислорода). Строение вещества можно отразить в структурной формуле, где с помощью черточек указывается число химических связей между атомами:



Число связей определяется валентностью атомов, входящих в состав молекулы. **Валентность элемента** — это способность его атомов соединяться с другими атомами в определенных соотношениях.

Для количественных характеристик химических процессов используют атомные и молекулярные массы. Абсолютные атомные и молекулярные массы очень малы, поэтому принята более удобная единица — **атомная единица массы а. е. м.**, или **углеродная единица у. е.**, равная $1/12$ массы изотопа ^{12}C — основного изотопа природного углерода:

$$1 \text{ а. е. м.} = 1/12 \cdot m(^{12}\text{C}) = 1,66057 \cdot 10^{-24} \text{ г.}$$

Относительной атомной массой (A_r) называется безразмерная величина, равная отношению средней массы атома элемента (с учетом процентного содержания изотопов в природе) к $1/12$ массы атома ^{12}C . Значение относительной атомной массы указывается в периодической системе Д.И. Менделеева.

Средняя абсолютная масса атома (m) равна относительной атомной массе, умноженной на а. е. м.

$$\begin{aligned} A_{r(\text{Mg})} &= 24,3124; \\ m_{(\text{Mg})} &= 24,312 \cdot 1,66057 \cdot 10^{-24} = 4,037 \cdot 10^{-23} \text{ г.} \end{aligned}$$

Относительная молекулярная масса (M_r) — безразмерная величина, показывающая, во сколько раз масса молекулы данного вещества больше $1/12$ массы атома углерода ^{12}C :

$$M_r = \frac{m_r}{\frac{1}{12} m_a(^{12}\text{C})},$$

где m_r — масса молекулы данного вещества; $m_a(^{12}\text{C})$ — масса атома углерода ^{12}C .

Относительная молекулярная масса вещества равна сумме относительных атомных масс всех элементов с учетом индексов:

$$M_r = \sum A_r(z).$$

Пример. Вычислить относительную молекулярную массу B_2O_3 , $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$.

В соответствии с вышеприведенной формулой для расчета необходимо знать относительные атомные массы элементов, входящих в состав молекулы. Воспользуемся периодической таблицей элементов:

$$M_r(\text{B}_2\text{O}_3) = 2 \cdot A_r(\text{B}) + 3 \cdot A_r(\text{O}) = 2 \cdot 11 + 3 \cdot 16 = 70.$$

Абсолютная масса молекулы равна относительной молекулярной массе, умноженной на а. е. м.

Число атомов и молекул в обычных образцах веществ очень велико, поэтому при характеристике количества вещества используют специальную единицу измерения — моль.

Количество вещества, моль означает определенное число структурных элементов (молекул, атомов, ионов). Обозначается n , измеряется в **моль**. Моль — количество вещества, содержащее столько же частиц, сколько содержится атомов в 12 г углерода С.

Число Авогадро (N_A). Количество частиц в 1 моль любого вещества одно и то же и равно $6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹.

Пример.

Сколько молекул содержится в 6,4 г серы?

Молекулярная масса серы равна 32 г/моль. Определяем количество г/моль вещества в 6,4 г серы:

$$n(\text{S}) = \frac{m_{\text{S}}}{M_{\text{S}}} = \frac{6,4}{32} = 0,2 \text{ моль.}$$

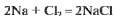
Определим число структурных единиц (молекул), используя постоянную Авогадро N_A :

$$N(\text{s}) = n_{(\text{s})} \cdot N_A = 0,2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 1,2 \cdot 10^{23}.$$

Молярная масса показывает массу 1 моля вещества (обозначается M):

$$M = \frac{m}{n}.$$

Молярная масса вещества равна отношению массы вещества к соответствующему количеству вещества n (числу молей вещества). Молярная масса вещества численно равна его относительной молекулярной массе, однако первая величина имеет размерность г/моль, а вторая — безразмерная. Это означает, что если масса некоторой молекулы равна, например, 80 г (SO_3), то и масса одного моля молекул равна 80 г. Все утверждения относительно молекул остаются справедливыми для молей. Например, уравнение реакции



означает, что два атома натрия реагируют с одной молекулой хлора или, что одно и то же, два моль натрия реагируют с одним молем хлора.

5.2. Периодическая система химических элементов

Периодическая система химических элементов — естественная классификация химических элементов, являющаяся табличным выражением периодического закона Д.И. Менделеева. Прообразом Пе-

риодической системы химических элементов послужила таблица, составленная Д.И. Менделеевым 1 марта 1869 г. В 1870 году Менделеев назвал систему естественной, а в 1871 г. — периодической.

В настоящее время **периодический закон** формулируется следующим образом: «**свойства простых веществ, а также свойства и формы соединений элементов находятся в периодической зависимости от зарядов ядра атомов элементов**».

Таким образом, периодичность в изменении свойств химических элементов, расположенных в порядке возрастания заряда ядра их атомов, является результатом периодического повторения структуры внешнего электронного слоя, что связано с последовательным заполнением атомных орбиталей в соответствии с принципом наименьшей энергии. Каждый элемент в одно и то же время обладает как набором сугубо индивидуальных свойств, связанных с особенностью строения его атомов, так и совокупностью свойств, сходных со свойствами его электронных аналогов (элементов, имеющих сходное строение электронных оболочек).

Строение электронных оболочек зависит от числа электронов в атоме и описывается четырьмя квантовыми числами.

1. **Главное квантовое число (n)** — характеризует энергию и размер орбитали (или число уровней). Оно принимает целочисленные значения (кроме 0): $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, \dots$

2. **Побочное (орбитальное) квантовое число (L)** — характеризует форму орбиталей и число подуровней, принимает значения от 0 до $(n - 1)$: т.е. $0, 1, 2, 3, 4, \dots (n - 1)$. Например: если $n = 2$, то L имеет два значения: 0, 1. Значит, на втором энергетическом уровне есть две орбитали, или подуровня: сферическая орбиталь ($L = 0$) (s -подуровень) и в виде объемной восьмерки (гантелеобразная) ($L = 1$) (p -подуровень). Орбиталь со значением $L = 0$ имеет пространственное строение сферы



Орбиталь со значением $L = 1$ имеет пространственное строение объемной восьмерки (гантелеобразная)



Орбитали с значением $L = 2$ (d -подуровень) и с значением $L = 3$ (f -подуровень) имеют более сложное пространственное строение.

Проведя расчеты по вышеуказанной формуле, вы убедитесь, что на первом уровне один подуровень — $1s$, на втором — два $2s2p$, на третьем — $3s3p3d$ и т.д.

Если в атоме последним заполняется s -подуровень, такой элемент называется s -элементом, если p — p -элементом, и т.д.

3. **Магнитное квантовое число (m_l)** — характеризует количество орбиталей одинаковой формы и ориентацию их в электромагнитном поле ядра атома (число квантовых ячеек на определенном подуровне). Графически орбиталь изображается в виде квантовой ячейки (□). Оно принимает значения в интервале от $-L$ до $+L$, включая ноль. Для каждого значения разрешено $(2L + 1)$ значений числа m_l . Например, если $L = 0$, то m имеет $(2 \times 0 + 1)$ одно значение 0 (действительно, сфера может иметь только одну ориентацию в декартовой системе координат) — одна квантовая ячейка; а если $L = 1$, то m имеет $(2 \times 1 + 1)$ три значения: $-1, 0, +1$ (объемная восьмерка может иметь преимущественную ориентацию по трем направлениям в декартовой системе координат: $p_x; p_y; p_z$) — три квантовые ячейки.

Следовательно, s -подуровень графически изображается одной квантовой ячейкой, p — тремя, d — пятью.

4. **Спиновое квантовое число (m_s)** — характеризует вращение электрона вокруг своей оси и принимает только два значения: $+1/2(\uparrow)$ (вращение по часовой стрелке) и $-1/2(\downarrow)$ (вращение против часовой стрелки). Спин электрона — свойство электрона вести себя как крошечный магнит.

Таким образом, в электронной оболочке можно выделить уровни и подуровни, характеризующиеся определенной емкостью. Распределение электронов подчиняется следующим правилам:

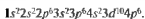
При заполнении атомных орбиталей действует **принцип Паули** (или **запрет Паули**), согласно которому **в атоме не может быть двух электронов, у которых все четыре квантовых числа одинаковые**. Основным следствием этого принципа является то, что в одной квантовой ячейке может быть только два электрона с противоположным спином: $\uparrow\downarrow$.

Заполнение энергетических подуровней подчиняется **правилу Гунда**, согласно которому **устойчивому состоянию атома соответствует такое распределение электронов в пределах энергетического подуровня, при котором абсолютное значение суммарного спина атома максимально**. Например, четыре валентных p — электрона атома кислорода размещаются в квантовых ячейках следующим образом:



Общее значение спина при таком расположении электронов равно +1. При любом другом варианте расположения электронов величина спина будет ниже.

Закономерная последовательность заполнения энергетических уровней и подуровней в атомах с увеличением порядкового номера элемента выражается **правилами Клечковского**, которые называют правилом суммы $n + L$. Согласно *первому правилу Клечковского*, при росте заряда ядра атома последовательное заполнение электронных орбиталей происходит от орбиталей с меньшим значением суммы главного и орбитального квантовых чисел к орбиталам с большим значением этой суммы. При одинаковом значении этой суммы порядок заполнения электронами энергетических подуровней определяется *вторым правилом Клечковского*: при одинаковых значениях суммы главного и орбитального квантовых чисел заполнение орбиталей происходит последовательно в направлении возрастания значения главного квантового числа. Таким образом, первым заполняется подуровень с меньшим значением n в этой сумме. Согласно данным правилам, последовательность написания заполнения электронной оболочки элементов первых четырех периодов имеет следующий вид:



Главный принцип построения Периодической системы — выделение в ней периодов (горизонтальных рядов) и групп (вертикальных столбцов) элементов.

Современная Периодическая система состоит из семи периодов (седьмой период должен закончиться 118-м элементом). Короткопериодный вариант Периодической системы содержит восемь групп элементов, каждая из которых условно подразделяется на группу А (главную) и группу Б (побочную). В длиннопериодном варианте Периодической системы — 18 групп, имеющих те же обозначения, что и в короткопериодном. Элементы одной группы имеют одинаковое строение внешних электронных оболочек атомов и проявляют определенное химическое сходство.

Периодом называют горизонтальную совокупность элементов, расположенных в порядке возрастания зарядов ядер атомов и характеризующихся одинаковым числом электронных слоев. Число элементов в периоде определяется числом подуровней, заполняющихся электронами: s^2 — первый период (два элемента), s^2, p^6 — второй и третий периоды (по восемь), s^2, p^6, d^{10} — четвертый и пятый периоды (по 18), s^2, p^6, d^{10}, f^{14} (32) и седьмой период (незавершенный). Каждый период начинается s -элементом с конфигурацией внешнего электронного

уровня ns^1 и завершающийся p -элементом с конфигурацией внешнего электронного уровня ns^2np^6 (кроме первого периода, который заканчивается гелием — $1s^2$). Номер периода определяется значением главного квантового числа внешнего электронного уровня:

Номер периода = Число энергетических уровней, заполненных электронами = Обозначение последнего энергетического уровня.

Первые три периода называют малыми и состоят они только из s - и p -элементов. Четыре остальных периода называют большими. В составе четвертого и пятого периодов появляются d -элементы, а в шестой и седьмой периоды входят f -элементы. Поскольку в каждом большом периоде должно находиться по десять d -элементов (у которых заполняются пять d -орбиталей), то Периодическая система должна содержать десять соответствующих групп. Однако традиционно используется нумерация групп лишь до восьми, поэтому число групп d -элементов расширяется за счет введения дополнительных цифр — это IB–VIII, VIII_B, VIII_B1 и VIII_B2-группы. Для f -элементов номеров групп не предусмотрено. Обычно их условно помещают в ячейки Периодической системы, отвечающие лантану (лантаноиды) и актинию (актиноиды). Символы лантаноидов и актиноидов выносятся за пределы Периодической системы в виде отдельных рядов.

Группой называют совокупность элементов, расположенных в таблице вертикально в порядке возрастания заряда ядра. В периодической системе находится восемь групп, так как на внешнем электронном уровне не может быть больше восьми валентных электронов. Каждая группа состоит из главной и побочной подгрупп. Главная подгруппа (*A*) — совокупность химических элементов, расположенных по вертикали и имеющих одинаковое число электронов на внешнем энергетическом уровне (s - и p -элементы). Побочная подгруппа (*B*) — совокупность химических элементов, расположенных по вертикали и имеющих одинаковое число электронов на внешнем (n) и предвнешнем ($n - 1$) уровне (d - и f -элементы).

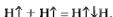
Таким образом, каждому элементу (кроме f -элементов) в Периодической системе соответствуют вполне определенные координаты: номер периода и номер группы. По этим координатам можно не только найти элемент в таблице Д.И. Менделеева, но и построить его электронную конфигурацию, учитывая физический смысл значения чисел, соответствующих номерам периода и группы, а также наличие буквы в номере группы, определяющей принадлежность элемента к секциям s - и p -элементов или d -элементов, а также прогнозировать химические свойства элемента.

5.3. Виды химической связи

Химическая связь — это взаимодействие атомов, обуславливающее устойчивость химической частицы или кристалла как целого. Различают следующие виды химической связи:

- 1) ковалентную;
- 2) ионную;
- 3) металлическую,
- 4) водородную.

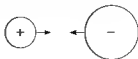
В большинстве случаев при образовании связи происходит обобществление электронов связываемых атомов. Такая связь называется **ковалентной**. В образовании одной общей пары принимает участие по одному электрону от каждого из взаимодействующих атомов (обменный механизм). Число общих электронных пар обозначает число связей между атомами. Следовательно, число неспаренных электронов на внешней оболочке атома определяет его способность образовывать определенное число связей. Например, электронное строение атома водорода $1s^1$, следовательно, в молекуле водорода одна химическая связь:



Различают два вида ковалентной связи: неполярную и полярную. Неполярная связь образуется между атомами одного и того же элемента: H_2 , Cl_2 . Полярная связь образуется между атомами различных элементов: HCl , H_2O .

Если атом теряет один или несколько электронов, то он превращается в положительный ион — **катион**. Так образуются катионы водорода H^+ , лития Li^+ , бария Ba^{2+} . Приобретая электроны, атомы превращаются в отрицательные ионы — **анионы**. Примерами анионов являются фторид-ион F^- , сульфид-ион S^{2-} .

Катионы и анионы способны притягиваться друг к другу. При этом возникает химическая связь, и образуются химические соединения. Такой тип химической связи называется **ионной связью**:



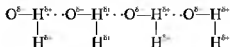
Таким образом, **ионная связь** — это химическая связь, образованная за счет электростатического притяжения между катионами и анионами.

Механизм образования ионной связи можно рассмотреть на примере реакции между натрием и хлором. Атом щелочного металла легко теряет электрон, а атом галогена — приобретает. В результате этого возникает катион натрия и хлорид-анион. Они образуют соединение за счет электростатического притяжения между ними.

Атомы металлов отличаются от атомов других элементов тем, что сравнительно слабо удерживают свои внешние электроны, поэтому в кристаллической решетке металла эти электроны покидают свои атомы, превращая их в положительно заряженные ионы. «Обобществленные» электроны передвигаются в пространстве между катионами и удерживают их вместе. Межатомные расстояния в металлах больше, чем в их соединениях с ковалентной связью. Такая связь существует не только в твердых кристаллах металлов, но и в расплавах и в аморфном состоянии. Она называется металлической. **Металлическая связь** — химическая связь, обусловленная наличием большого количества не связанных с ядрами подвижных электронов.

Единая система электронов в металлических веществах называется электронным газом.

Атом водорода, соединенный с атомом фтора, кислорода или азота (реже — хлора, серы или других неметаллов), может образовывать еще одну дополнительную связь с другими молекулами. Такая химическая связь получила название водородной связи. **Водородная связь** — это взаимодействие между двумя электроотрицательными атомами одной или разных молекул посредством атома водорода: $A-H \cdots B$ (чертой обозначена ковалентная связь, тремя точками — водородная связь). Водородная связь обусловлена электростатическим притяжением атома водорода (несущим положительный заряд δ^+) к атому электроотрицательного элемента, имеющего отрицательный заряд δ^- . В большинстве случаев она слабее ковалентной, но существенно сильнее обычного притяжения молекул друг к другу в твердых и жидких веществах:



В зависимости от внешних условий (температуры и давления) почти каждое вещество может находиться в одном из трех агрегатных состояний: **твердом**, **жидком** или **газообразном**.

В **твердых телах** молекулы наиболее сближены между собой и силы притяжения между ними очень велики, поэтому твердое тело сохраняет свою форму и объем, и чтобы изменить их, надо приложить значительную силу. В твердых телах поступательное движение частиц ве-

щества отсутствует. При этом молекулы, атомы или ионы, из которых состоят твердые тела, расположены в определенном порядке, и частицы совершают лишь колебательные движения около определенных точек. Атомы, молекулы или ионы в твердых веществах, определенным образом располагаясь в пространстве, образуют пространственную кристаллическую решетку. Различают *четыре основных типа решеток*: молекулярные, атомные, ионные и металлические.

В узлах ионных кристаллических решеток находятся положительно и отрицательно заряженные ионы, связанные между собой электрическими силами притяжения разноименных зарядов (ионной связью). **Ионные решетки** типичны для большинства солей и некоторых оксидов, состоящих из элементов с сильно отличающейся электроотрицательностью. Примером может служить хлорид натрия. В его кристалле в узлах решетки расположены ионы натрия и хлора, каждый ион натрия окружен шестью ионами хлора, а каждый ион хлора — шестью ионами натрия. Таким образом, для соединений с ионной решеткой понятие молекулы теряет смысл: весь ионный кристалл представляет собой как бы гигантскую молекулу.

Вещества с ионной решеткой мало летучи, имеют высокую температуру плавления, сравнительно большую твердость, их растворы и расплавы проводят электрический ток.

Атомные кристаллические решетки построены из нейтральных атомов, определенным образом расположенных в пространстве и связанных силами ковалентных связей. Все связи в таких кристаллах равноценны и очень прочны, поэтому вещества с атомными кристаллическими решетками имеют большую твердость, высокую температуру плавления, плохую растворимость. Веществами с атомным типом кристаллической решетки являются алмаз, графит, кремний, бор, карборунд и др.

В узлах **молекулярных кристаллических решеток** находятся нейтральные молекулы, связанные силами межмолекулярных взаимодействий (силами Ван-дер-Ваальса). Эти силы слабее, чем электрические или силы ковалентных связей, поэтому вещества с молекулярным типом решетки обладают малой твердостью, низкими температурами плавления и кипения, растворы их имеют сравнительно малую электропроводность. Представителями веществ с молекулярной решеткой являются органические вещества, вода (лед), некоторые неметаллы и твердый диоксид углерода (сухой лед).

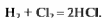
Металлические решетки отличаются от всех рассмотренных типов кристаллических решеток. Согласно современным представлениям, в узлах пространственной решетки типичных металлов находятся по-

ложительно заряженные ионы, между которыми находятся электроны в особом, так называемом свободном состоянии («электронный газ»). Электроны как бы скрепляют одноименно заряженные ионы металла в плотнейшую кристаллическую решетку. В свою очередь сами электроны удерживаются катионами металлов и не могут свободно покинуть решетку. Наличием «электронного газа» объясняется высокая электропроводность металлов. Под влиянием разности потенциалов электроны начинают передвигаться в определенном направлении — возникает электрический ток. Высокая теплопроводность, ковкость, а также химические свойства металлов объясняются наличием «электронного газа».

5.4. Химические реакции. Скорость химической реакции

По числу и составу исходных веществ и продуктов реакции химические реакции можно разделить на следующие типы: разложение; соединение; обмен; замещение.

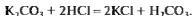
1. **Реакции соединения**, в результате которых из исходных веществ получается одно новое вещество:



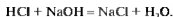
2. **Реакции разложения**, в результате которых из исходного вещества образуются два или более новых веществ:



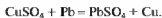
3. **Реакции обмена**, в течение которых происходит обмен атомами, входящими в состав молекулы. Обмен наиболее характерен для ионных реакций:



К реакциям обмена относится и реакция нейтрализации:



4. **Реакции замещения**, в результате которых происходит замещение одних атомов, содержащихся в молекуле, на другие. В данную реакцию вступают одно сложное вещество и одно простое вещество. В результате этой реакции образуется новое простое и сложное вещества:



В зависимости от теплового эффекта реакции подразделяются на экзотермические и эндотермические.

Экзотермическими называют реакции, протекающие с выделением энергии:

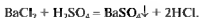


Реакции, сопровождающиеся поглощением энергии, называют эндотермическими:



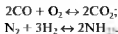
1. Выделение или поглощение энергии может быть обозначено в уравнении реакции соответственно знаком $+Q$ или $-Q$. Такие уравнения называются термохимическими. Реакции разложения обычно протекают с поглощением энергии, а присоединения — с выделением энергии.

По обратимости реакции различают необратимые и обратимые реакции. **Необратимые реакции** протекают до полного превращения исходных веществ в продукты:



Признаками необратимости реакций в растворах является образование малодиссоциирующего вещества (осадка, газа или воды).

Обратимые реакции протекают как в сторону получения продуктов реакции, так и в сторону получения исходных веществ:



Важно отметить, что по разным признакам одна и та же реакция может быть отнесена одновременно к нескольким типам, например $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \leftrightarrow 2\text{SO}_3$. Эта реакция относится к следующим типам реакций: соединения, экзотермическим, окислительно-восстановительным, каталитическим и обратимым.

Под **скоростью химической реакции** понимается изменение количества вещества за определенный промежуток времени:

$$v = \frac{\Delta n}{\Delta t},$$

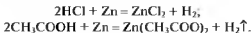
где Δn — изменение числа молей реагирующих веществ или продуктов реакции (в случае расчета величины скорости реакции через число молей продуктов реакции в формуле используют знак минус для сохранения физического смысла скорости химической реакции); Δt — время реакции.

Единицей измерения скорости химической реакции служит моль/л⁻¹с⁻¹.

Скорость реакции зависит от следующих факторов:

- природы реагирующих веществ;
- поверхности реагирующих веществ (для гетерогенных реакций);
- концентрации реагирующих веществ;
- газового давления;
- температуры;
- наличия катализатора или ингибитора.

Природа реагирующих веществ. При взаимодействии соляной и уксусной кислот с цинком о скорости химической реакции можно судить по темпу выделения газообразного водорода:



При участии в реакции соляной кислоты скорость выделения газообразного водорода выше, следовательно, скорость данной химической реакции также выше. Это объясняется тем, что соляная кислота более сильная, чем уксусная.

Поверхность реагирующих веществ. Чем больше поверхность реагирующих веществ, тем выше скорость гетерогенной реакции. В качестве примера можно рассмотреть реакцию взаимодействия карбоната кальция (мел) и соляной кислоты. В результате реакции образуется слабая угольная кислота, которая разлагается в растворе с выделением углекислого газа:



Если карбонат кальция внести в реакционную сферу в виде порошка, скорость реакции значительно повысится.

Зависимость скорости реакции от концентрации реагирующих газообразных или растворенных веществ подчиняется **закону действия масс**: скорость химической реакции прямо пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ, взятых в степени их стехиометрических коэффициентов. Запишем химическую реакцию в общем виде:



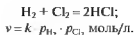
Если считать, что реакция протекает в гомогенной среде, то закон действия масс для нее выглядит следующим образом:

$$v = k \cdot [A]^a \cdot [B]^b \text{ моль/л,}$$

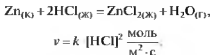
где $[A]$ и $[B]$ — молярные концентрации веществ A и B ; a и b — показатели степеней, соответствующие количеству моль веществ A и B ; k — константа ско-

рости реакции, зависящая от температуры, но не зависящая от концентрации реагирующих веществ (k — это скорость реакции при условии, что концентрации исходных веществ равны одному молью в литре).

При участии в реакции газообразных веществ в уравнении закона действия масс концентрации веществ можно заменить их газовыми (парциальными) давлениями:



Рассмотрим закон действия масс для конкретных реакций:



При написании уравнения закона действия масс не учитывают концентрации веществ, находящихся в твердом агрегатном состоянии, и веществ, находящихся в реакционной сфере в избытке. Так как цинк — твердое вещество, его участие в реакции учитывается константой скорости химической реакции. Веществом, находящимся в избытке в реакционной сфере, чаще всего выступает вода, например в реакциях гидролиза.

Влияние температуры на скорость химической реакции подчиняется **уравнению Вант-Гоффа**: При изменении температуры на каждые 10° скорость химической реакции возрастает в 2—4 раза. Математическое выражение закона:

$$\frac{v_{t_2}}{v_{t_1}} = \gamma^{\frac{\Delta T}{10}},$$

где v_{t_1} — начальная скорость реакции при температуре t_1 ; v_{t_2} — измененная скорость при температуре t_2 ; γ — температурный коэффициент; ΔT — изменение температуры реакции, $\Delta T^\circ = T_2 - T_1$.

При изменении температуры на 10°C , скорость реакции $\frac{v_2}{v_1}$ изменяется в $2 \div 4$ раза, т.е. температурный коэффициент находится в пределах от 2 до 4.

Присутствие катализатора или ингибитора. Катализом называется процесс изменения скорости химической реакции под действием особых веществ, которые принимают участие в химической реакции, но сами в результате реакции не расходуются. Если в результате катализа происходит повышение скорости реакции, то такой процесс

называется положительным катализом, или просто катализом. Вещества, которые ускоряют химические реакции, называются *катализаторами*. Например, разложение бертолетовой соли и пероксида водорода ускоряется в присутствии оксида марганца (IV). Если в результате катализа происходит уменьшение скорости реакции, то такой процесс называется *отрицательным катализом*, или *ингибированием*, а вещества — *ингибиторами*.

Различают **гомогенный** и **гетерогенный** катализ. В первом случае катализатор и реагирующие вещества находятся в одинаковом агрегатном состоянии (образуют одну фазу), во втором — в разных агрегатных состояниях (гетерогенная система, так как присутствует граница раздела фаз).

Контрольные вопросы и задания

1. Что такое химическая формула вещества? Что такое индекс и коэффициент в химических формулах?
2. Какие вещества, из числа приведенных ниже, являются простыми: а) оксид натрия, б) серная кислота, в) кислород, г) озон, д) медь, е) бронза.
3. Дайте характеристику четырем квантовым числам.
4. Сформулируйте принцип Паули, правило Гунда и правило Клечковского.
5. Дайте современную формулировку Периодического закона Д.И. Менделеева.
6. Чем механизм образования и свойства металлической связи отличаются от ковалентной и ионной связи?
7. Что называют кристаллической решеткой вещества? Какие кристаллические решетки имеют: а) графит, б) медь? Какие частицы находятся в узлах каждой кристаллической решетки? Как это отражается на свойствах названных веществ?
8. Охарактеризуйте влияние природы реагирующих веществ и площади поверхности на скорость химической реакции.
9. Запишите выражение закона действия масс для следующей реакции:



10. Взяты два кусочка серы одинаковой массы. Один из них измельчен в порошок, после чего порошок и кусочек серы поместили в кислород и подожгли. В каком случае реакция пойдет быстрее и почему?

ГЛАВА 6. НЕОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

6.1. Теория электролитической диссоциации

Все вещества по их поведению в растворах принято условно делить на две группы: **электролиты** и **неэлектролиты**.

Электролитами называют сложные вещества, растворы и расплавы которых способны проводить электрический ток. **Неэлектролиты**, наоборот, электрический ток не проводят. К электролитам относят большинство неорганических кислот, щелочей и солей, например, хлороводородная (соляная) кислота HCl , хлорид натрия NaCl , гидроксид калия KOH . К неэлектролитам относят многие органические соединения, например спирты, углеводы (сахара), а также газообразные вещества и оксиды.

Электрическая проводимость растворов электролитов объясняется наличием носителей электричества второго рода — заряженных частиц, называемых ионами. Таким образом, в растворах электролитов происходит процесс распада кристаллов и молекул на ионы, называемый электролитической диссоциацией.

Основные положения электролитической диссоциации

1. Диссоциация происходит под действием молекул растворителя (чаще воды) или температуры. При этом химические связи между частицами в кристаллической решетке разрушаются и образуются положительно заряженные ионы, называемые катионами и отрицательно заряженные ионы, называемые анионами:



2. Процесс диссоциации является обратимым, ему соответствует процесс ассоциации, т.е. образования молекул из ионов.

3. Диссоциации подвергаются только полярные молекулы (с ионной и полярной ковалентной связью). Рассмотрим электролитическую диссоциацию хлорида натрия (NaCl), молекулы которого образованы ионной связью. В узлах кристаллической решетки таких молекул находятся готовые ионы. При расплавлении энергия, подводимая к кристаллам, усиливает колебания ионов в узлах кристаллической решетки, в результате чего связи между ионами разрушаются и появляются свободные ионы. Аналогичный эффект достигается при растворении

хлорида натрия в воде, только роль разрушающего фактора выполняют молекулы воды, которые как бы растягивают кристалл на отдельные частицы. При этом ионы оказываются окруженными («гидратированными») молекулами воды.

Диссоциация веществ с ковалентной полярной связью происходит несколько сложнее, например диссоциация хлороводорода в воде. Сначала происходит взаимодействие молекул воды с молекулами HCl, находящимися в узлах кристаллической решетки, и их отщепление от нее, а затем происходит «растягивание» полярной молекулы HCl на гидратированные ионы H^+ и Cl^- . Уравнение электролитической диссоциации хлороводорода выглядит так:



4. Под действием электрического тока в растворах электролитов начинается направленное движение ионов: катионы движутся к катоду, а анионы — к аноду.

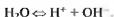
5. Количественно процесс диссоциации характеризуется **степенью диссоциации**, величина которой показывает, какая часть исходных молекул распалась на ионы:

$$\alpha = \frac{n_{\text{диссоц}}}{n_0},$$

где $n_{\text{диссоц}}$ — число молей вещества, распавшихся на ионы; n_0 — исходное число молей.

6. По степени диссоциации электролиты делятся на **слабые** ($\alpha \leq 3\%$) и **сильные** ($\alpha \approx 100\%$). К сильным электролитам относятся сильные кислоты (HNO_3 , H_2SO_4), растворимые соли и основания [$NaCl$, $Ca(NO_3)_2$]. К слабым — слабые кислоты (HNO_2 , H_2S), нерастворимые основания [$Fe(OH)_3$, $Cu(OH)_2$] и гидроксид аммония NH_4OH .

Вода подвергается диссоциации в незначительной степени по уравнению:



Произведение концентраций ионов, образующихся при диссоциации воды $[H^+] \cdot [OH^-]$, называется **ионным произведением воды** и обозначается K_w . Таким образом,

$$K_w = [H_3O^+] \cdot [OH^-].$$

При $25^\circ C$ в чистой воде его значение равно $1,0 \cdot 10^{-14}$ и растет с увеличением температуры:

$$K_w = [H^+] \cdot [OH^-] = 10^{-14}$$

В нейтральной среде $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-]$, тогда $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = \sqrt{K_w} = 1,0 \cdot 10^{-7}$ моль/л.

В соответствии с теорией электролитической диссоциации ионы H^+ являются носителями кислотных свойств, а OH^- — носителями основных свойств. Поэтому раствор будет кислым, если $[\text{H}^+] > [\text{OH}^-]$, и щелочным, если $[\text{H}^+] < [\text{OH}^-]$.

Для характеристики кислотности (щелочности) среды введен специальный параметр — **водородный показатель, обозначаемый pH**. *Водородным показателем* называется взятый с отрицательным знаком десятичный логарифм концентрации ионов водорода в растворе:

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+].$$

Водородный показатель определяет характер реакции раствора (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Соотношения между концентрациями ионов водорода и pH

$[\text{H}^+]$	pH	Реакция раствора
1	0	Сильно кислая
10^{-1} — 10^{-3}	1—3	
10^{-4} — 10^{-6}	4—6	Слабо кислая
10^{-7}	7	Нейтральная
10^{-8} — 10^{-10}	8—10	Слабо щелочная
10^{-11} — 10^{-14}	11—14	Сильно щелочная

Водородный показатель имеет большое значение для понимания большинства процессов, протекающих в жидкой фазе, так как ионы H^+ и OH^- непосредственно участвуют во многих из этих процессов. Величина pH может служить критерием силы кислоты или основания. В ряду кислот при их одинаковой молярной концентрации более сильной будет та, у которой концентрация ионов H^+ выше (pH ниже). Так, pH 0,1 M растворов уксусной и соляной кислот будут 2,87 и 1,088, соответственно. Следовательно, соляная кислота является более сильной кислотой. Для оснований подобная зависимость имеет обратный характер.

Для определения pH используют индикаторы. **Индикаторами** называются вещества, имеющие определенную окраску в зависимости от pH среды. Окраска индикаторов происходит в определенном интервале pH, называемом *интервалом* перехода. Чаще всего применяют следующие индикаторы (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Характерная окраска и области перехода ряда индикаторов

Индикатор	Область перехода pH	Окраска	
		в кислом растворе	в щелочном растворе
Метиловый оранжевый	3,1—4,4	Розовая	Оранжево-желтая
Метиловый красный	4,2—6,3	Красная	Оранжево-желтая
Лакмус	6,0—8,0	Красная	Синяя
Феноловый красный	6,8—8,4	Желтая	Красная
Фенолфталеин	8,0—10,0	Бесцветная	Малиновая

Существует также универсальный индикатор, который представляет собой смесь нескольких. Он позволяет измерить pH индикаторов в более широком диапазоне, так как его окраска изменяется от красной (pH < 3,4) через оранжевую (pH 3,4—4,7), желтую (pH 4,7—6,2), зеленую (pH 6,2—7,2), голубую (pH 7,2—8,5) до фиолетовой (pH > 8,5).

В соответствии с теорией электролитической диссоциации можно дать следующее определение **основных классов неорганических соединений**

1. **Кислотами** называются вещества, молекулы которых диссоциируют на катионы водорода (упрощенно) и анионы кислотных остатков:



Для многоосновных кислот происходит ступенчатая диссоциации:



2. **Гидроксидами** (основаниями) называются вещества, молекулы которых при диссоциации образуют катионы металлов (или катион аммония) и анион гидроксильной группы OH^- .



Многокислотные основания также подвергаются ступенчатой диссоциации:



3. Молекулы **соли** в процессе диссоциации дают катионы металлов (или катион аммония) и кислотный остаток:



6.2. Классы неорганических соединений и их свойства

Оксиды представляют собой соединения элементов с кислородом. Оксиды подразделяют на **солеобразующие** и **несолеобразующие**.

Солеобразующие оксиды делят на **основные** (образуют соли с кислотами), **кислотные** (образуют соли с основаниями) и **амфотерные** (образуют соли как с кислотами, так и с основаниями). Основным оксидам отвечают основания, кислотным — кислоты, а амфотерным — гидраты, которые проявляют как кислотные, так и амфотерные свойства.

Кислотные оксиды представляют собой ангидриды кислот (SO_2 — серный ангидрид, N_2O_5 — азотный ангидрид). Например, N_2O , NO — несолеобразующие оксиды; SO_3 , SiO_2 — кислотные оксиды; CaO , MgO — основные оксиды и т.д.

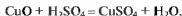
В настоящее время общепринятой является международная номенклатура оксидов. Согласно международной номенклатуре в названии оксида указывается валентность элемента: CuO и Cu_2O — оксиды меди [II] и [III] соответственно.

Физические свойства оксидов

По агрегатному состоянию оксиды бывают газообразными (CO_2), жидкими (N_2O_4 , Cl_2O_7) и твердыми (все основные оксиды, а также P_2O_5 , SiO_2).

Химические свойства оксидов

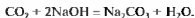
1. Основные оксиды взаимодействуют с кислотами с образованием соли и воды:



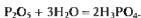
2. Оксиды активных металлов взаимодействуют с водой с образованием щелочи:



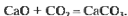
3. Кислотные оксиды взаимодействуют и с растворимыми основаниями (щелочами) с образованием соли и воды:



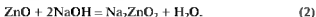
4. Если кислотные оксиды взаимодействуют с водой, то при этом образуются кислоты:



5. Основные и кислотные оксиды взаимодействуют между собой с образованием соли:

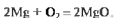


6. Амфотерные оксиды взаимодействуют как с кислотами, так и с основаниями с образованием соли и воды:



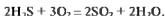
Способы получения оксидов

1. Окисление простых веществ кислородом:

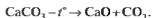
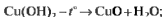


Метод не применим для щелочных металлов, которые при окислении обычно дают пероксиды (Na_2O_2 , K_2O_2), и для благородных металлов (Au , Ag , Pt), которые не окисляются кислородом.

2. Окисление сложных веществ (солей бескислородных кислот и водородных соединений неметаллов):



3. Разложение оснований, кислот или солей кислородсодержащих кислот:

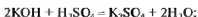


Нельзя пользоваться этим методом для получения оксидов щелочных металлов, так как разложение щелочей происходит при слишком высоких температурах, а соли щелочных металлов не разлагаются при нагревании с образованием оксидов.

Гидроксиды (основания) классифицируют по их силе: **сильные** (все щелочи, кроме NH_4OH) и **слабые**, а также по растворимости в воде: **растворимые** — щелочи и **нерастворимые**. Важнейшими щелочами являются KOH (едкое кали) и NaOH (едкий натр). Названия гидроксидов складываются из слова «гидроксид» и названия катиона. Для катионов металлов с переменной валентностью в скобках указывают валентность: KOH — гидроксид калия, $\text{Cu}(\text{OH})_2$ — гидроксид меди (II).

Химические свойства гидроксидов**Растворимые в воде (щелочи):**

- 1) взаимодействуют с кислотами с образованием соли и воды:



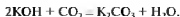
- 2) меняют окраску индикаторов:

- красный лакмус — в синий цвет,
- бесцветный раствор фенолфталеина — в малиновый цвет;

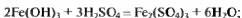
- 3) реагируют с растворами солей (если в их состав входит металл, способный образовать нерастворимое основание):



- 4) взаимодействуют с кислотными оксидами:

**Нерастворимые в воде:**

- 1) взаимодействуют с кислотами с образованием соли и воды:



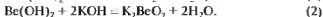
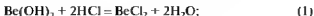
- 2) при нагревании разлагаются на оксид и воду:



- 3) реакции с растворами солей нехарактерны;

- 4) реакции с кислотными оксидами нехарактерны (идут очень медленно);

- 5) амфотерные образуют соли при взаимодействии как с кислотами, так и с основаниями. При взаимодействии с кислотами амфотерные гидроксиды проявляют свойства оснований, а при взаимодействии с основаниями — свойства кислот.

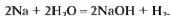
**Способы получения оснований**

1. Общим методом получения оснований является *реакция обмена*. При взаимодействии соли со щелочью образуется новое основание и новая соль:

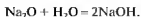


Этим методом могут быть получены как нерастворимые, так и растворимые основания.

2. Щелочи можно получить *взаимодействием щелочных и щелочноземельных металлов с водой*:



3. Щелочи могут быть получены также *взаимодействием оксидов щелочных и щелочноземельных металлов с водой*:



4. В технике щелочи получают электролизом растворов некоторых солей:



В состав **кислот**, как уже говорилось выше, входит водород, способный замещаться металлом, а также анион кислотного остатка H_xA_n . Коэффициент x , отвечающий количеству атомов водорода, а следовательно **равный** валентности кислотного остатка, называют *основностью кислоты*.

Кислоты классифицируют:

- 1) **по их силе** (H_2SO_4 , HNO_3 — *сильные кислоты*; HCN — *слабая кислота*),
- 2) **по содержанию кислорода** на *кислородсодержащие* (H_2SO_4 , HNO_3) и *бескислородные* (HCN , HI);
- 3) **по основности** (x) — HCN — *одноосновная кислота*, H_2SO_3 — *двухосновная кислота*, H_3PO_4 — *трехосновная кислота*.

Названия кислот образуют от того элемента, которым образована кислота, при этом названия бескислородных кислот оканчиваются словом «водород», например, HCl — *хлороводородная* или *соляная кислота*. Названия кислородсодержащих кислот образуют от того элемента, которым образована кислота, с добавлением слова *кислота* (H_2SO_4 — *серная кислота*). В случаях, когда один элемент образует несколько кислот, различие между кислотами проявляют в окончаниях названий (на *-ная* или *-овая* оканчиваются названия тех кислот, в которых элемент проявляет наивысшую валентность; на *-истая* или *-овистая* оканчиваются названия тех кислот, в которых элемент проявляет валентность ниже максимальной).

Примеры: HNO_3 — азотная кислота, а HNO_2 — азотистая кислота.

Физические свойства кислот

Большинство кислот представляют собой жидкости (H_2SO_4 , HNO_3 и др.) или твердые вещества (H_3PO_4 , H_2SiO_3). Растворимые в воде кис-

лоты придают раствору кислый вкус (за счет свободных ионов водорода), разъедают растительные и животные ткани, окрашивают индикаторы лакмус, метилоранж в красный цвет.

Химические свойства кислот

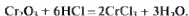
1. Водные растворы кислот взаимодействуют с металлами, стоящими в ряду напряжения до водорода, с образованием соли и выделением водорода (исключение HNO_3):



2. Кислоты взаимодействуют с основными оксидами и основаниями с образованием соли и воды:



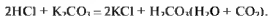
3. Кислоты взаимодействуют с амфотерными оксидами с образованием соли и воды:



4. При нагревании некоторые кислоты разлагаются. Как правило, образуется кислотный оксид и вода:

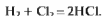


5. Кислоты могут взаимодействовать с солями более слабых или более летучих кислот, образуя новую соль и новую кислоту:

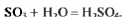


Способы получения кислот

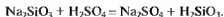
1. Бескислородные кислоты могут быть получены непосредственным синтезом из элементов, с последующим растворением полученного соединения в воде:



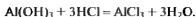
2. Кислородсодержащие кислоты могут быть получены взаимодействием кислотных оксидов (ангидридов кислот) с водой:



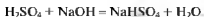
3. Как бескислородные, так и кислородсодержащие кислоты можно получить по реакции обмена между солями и другими кислотами:



Соли являются продуктом замещения водорода в кислоте на металл или гидроксогрупп в основании на кислотный остаток. **Средние соли** образуются при взаимодействии кислот с основаниями, когда количества взятых веществ достаточно для полного замещения атомов водорода в кислоте на атом металла или гидроксильных групп в основании на кислотный остаток:

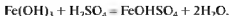


Кислые соли образуются многоосновными кислотами при взаимодействии кислот с основаниями в тех случаях, когда количество взятого основания недостаточно для образования средней соли, например:



Как видно из реакции, гидроксида натрия взято вдвое меньше, чем это требовалось бы для полного замещения атомов водорода на атом металла. При добавлении NaOH к раствору кислой соли получается средняя соль.

Основные соли могут быть образованы только многокислотными основаниями и в тех случаях, когда взятого количества кислоты недостаточно для образования средней соли, например образование гидросульфата железа (II):



При добавлении к основной соли кислоты, можно получить среднюю, например:



Двойные соли можно рассматривать как продукт замещения атомов водорода многоосновной кислоты на атомы разных металлов, или как продукт замещения гидроксильных групп многокислотного основания на кислотные остатки разных кислот. Например: $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ — алюмокалиевые квасцы, сульфат алюминия-калия.

Примеры названий солей: NaHS, KHCO_3 — кислые соли (гидросульфид натрия и гидрокарбонат натрия); MgOHCl , CaOHCl — основные соли (гидроксохлориды магния и кальция); NaCl, CuS — нормальные соли (хлорид натрия и сульфид меди) (табл. 6.3).

Таблица 6.3

Кислоты и соли

Название кислоты	Формула кислоты	Название соли	Формула соли
Серная	H_2SO_4	Сульфат К	K_2SO_4
Сернистая	H_2SO_3	Сульфит Na	Na_2SO_3
Соляная	HCl	Хлорид Ca	$Ca(Cl)_2$
Сероводородная	H_2S	Сульфид Na	Na_2S
Азотная	HNO_3	Нитрат К	KNO_3
Азотистая	HNO_2	Нитрит Na	$NaNO_2$
Ортофосфорная	H_3PO_4	Ортофосфат К	K_3PO_4
Кремниевая	H_2SiO_3	Силикат Ca	$CaSiO_3$
Угльная	H_2CO_3	Карбонат К	K_2CO_3

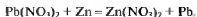
Физические свойства солей

Соли представляют собой твердые кристаллические вещества. По растворимости в воде их можно разделить на: 1) *хорошо растворимые*, 2) *мало растворимые*, 3) *практически нерастворимые*. Все соли азотной и уксусной кислот растворимы в воде. Соли имеют широкий диапазон температур плавления и термического разложения.

Химические свойства солей

Химические свойства солей характеризуют отношение солей к металлам, щелочам, кислотам, солям.

1. Взаимодействие солей с металлами. Более активный металл замещает менее активный металл в его солях (см. ряд активностей металлов):

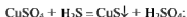


2. Обменная реакция со щелочами, при этом получают новое осадок и новая соль:

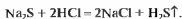


3. Обменная реакция с кислотами, при этом получают новая соль и новая кислота:

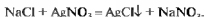
- в результате реакции образуется труднорастворимая соль:



- в результате реакции образуется слабая кислота:



5. Обменная реакция между солями, при этом получаются две новые соли:



Обменные реакции протекают практически до конца, если хотя бы один из продуктов реакции выделяется из сферы реакции в виде осадка, газа или при реакции образуется вода.

6.3. Простые вещества и их свойства

Металлы — это вещества, обладающие высокой электропроводностью и теплопроводностью, ковкостью, пластичностью и металлическим блеском. Эти характерные свойства металла обусловлены наличием свободно перемещающихся электронов в его кристаллической решетке. Деление всех химических элементов периодической системы Д.И. Менделеева на металлы и неметаллы является условным. Если в периодической таблице провести диагональ через бор и астат, то в главных подгруппах, расположенных справа от диагонали, будут неметаллы, а в главных подгруппах слева от диагонали, побочных подгруппах и в восьмой группе (кроме инертных газов) — металлы. Причем элементы рядом с разделительной линией являются так называемыми металлоидами, т.е. веществами с промежуточными свойствами (металлов и неметаллов). К ним относятся: бор В, кремний Si, германий Ge, мышьяк As, сурьма Sb, теллур Te, полоний Po. В соответствии с местом, занимаемым в периодической системе, различают переходные (элементы побочных подгрупп) и непереходные металлы (элементы главных подгрупп). Металлы главных подгрупп характеризуются тем, что в их атомах происходит последовательное заполнение электронных *s*- и *p*-подуровней. В атомах металлов побочных подгрупп происходит достраивание *d*- и *f*-подуровней.

Для всех металлов характерна **металлическая кристаллическая решетка**. Атомы металлов имеют сходство в строении внешнего электронного слоя, который образован небольшим числом электронов (в основном не больше трех). В связи с тем, что электроны внешнего слоя атомов металлов слабо связаны с ядром, они могут быть «отданы» другим частицам, что и происходит при химических реакциях:



Свойство атомов металлов отдавать электроны является их характерным химическим свойством и свидетельствует о том, что металлы проявляют **восстановительные свойства**.

Теплопроводность и электропроводность уменьшается в ряду металлов:



Все металлы делятся на две большие группы:

- 1) **черные металлы.** Имеют темно-серый цвет, большую плотность, высокую температуру плавления и относительно высокую твердость. Типичным представителем черных металлов является железо;
- 2) **цветные металлы.** Имеют характерную окраску: красную, желтую, белую; обладают большой пластичностью, малой твердостью, относительно низкой температурой плавления. Типичным представителем цветных металлов является медь.

В зависимости от своей *плотности* металлы делятся:

- 1) на **легкие** (плотность не более 5 г/см^3). К легким металлам относятся: литий, натрий, калий, магний, кальций, цезий, алюминий, барий. Самый легкий металл — литий **1** л, плотность $0,534 \text{ г/см}^3$;
- 2) **тяжелые** (плотность больше 5 г/см^3). К тяжелым металлам относятся: цинк, медь, железо, олово, свинец, серебро, золото, ртуть и др. Самый тяжелый металл — осмий, плотность $22,5 \text{ г/см}^3$.

Металлы различаются по своей *твердости*:

- 1) **мягкие:** режутся даже ножом (натрий, калий, индий);
- 2) **твердые:** металлы сравниваются по твердости с алмазом, твердость которого (*НВ*) равна 10 единиц. Хром — самый твердый металл, режет стекло.

В зависимости от температуры плавления металлы условно делятся на:

- 1) **легкоплавкие** (температура плавления до $1539 \text{ }^\circ\text{C}$). К легкоплавким металлам относятся: ртуть — температура плавления $38,9 \text{ }^\circ\text{C}$; галлий — температура плавления $29,78 \text{ }^\circ\text{C}$; цезий — температура плавления $28,5 \text{ }^\circ\text{C}$ и другие металлы;
- 2) **тугоплавкие** (температура плавления выше $1539 \text{ }^\circ\text{C}$). К тугоплавким металлам относятся: хром — температура плавления $1890 \text{ }^\circ\text{C}$; молибден — температура плавления $2620 \text{ }^\circ\text{C}$; ванадий — температура плавления $1900 \text{ }^\circ\text{C}$; тантал — температура плавления $3015 \text{ }^\circ\text{C}$ и многие другие металлы. Самый тугоплавкий металл вольфрам — температура плавления $3420 \text{ }^\circ\text{C}$.

В природе металлы встречаются в различном виде:

- в самородном состоянии: серебро, золото, платина, медь, иногда ртуть;
- в виде оксидов: магнетит Fe_3O_4 , гематит Fe_2O_3 и др.;

- в виде смешанных оксидов: каолин $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, алунит $(\text{Na}, \text{K})_2\text{O} \cdot \text{AlO}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ и др.;
- различных солей:
 - сульфидов: галенит PbS , киноварь HgS ,
 - хлоридов: сильвин KCl , галит NaCl , сильвинит $\text{KCl} \cdot \text{NaCl}$, карналлит $\text{KCl} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$,
 - сульфатов: барит BaSO_4 , ангидрид Ca_8O_4 ,
 - фосфатов: апатит $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$,
 - карбонатов: мел, мрамор CaCO_3 , магнезит MgCO_3 .

Многие металлы часто сопутствуют основным природным минералам: скандий входит в состав оловянных, вольфрамовых руд, кадмий — в качестве примеси в цинковые руды, ниобий и тантал — в оловянные. Железным рудам всегда сопутствуют марганец, никель, кобальт, молибден, титан, германий, ванадий.

Способы получения металлов

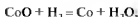
Существуют несколько основных способов получения металлов.

1. Восстановление:

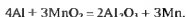
- из их оксидов углем или оксидом углерода (II):



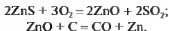
- водородом:



- алюминотермией:



2. Обжигом сульфидов металлов и последующим восстановлением образовавшихся оксидов (например, углем):



3. Электролизом расплавов солей:

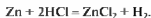


где катод (восстановление): $\text{Cu}_2 + 2e^- = \text{Cu}^0$; анод (окисление): $2\text{Cl} - 2e^- = \text{Cl}_2^0$.

Характерные свойства металлов

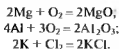
1. Взаимодействие с разбавленными кислотами определяется положением металла в электрохимическом ряду напряжений:

Все металлы с отрицательными стандартными электродными потенциалами, т.е. расположенные в ряду до водорода, вытесняют водород из разбавленных кислот (кроме HNO_3):



Металлы, расположенные в электрохимическом ряду напряжений после водорода, не вытесняют водород из растворов кислот.

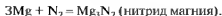
2. Взаимодействие с неметаллами. Реакции с галогенами и кислородом воздуха протекают с различными скоростями и при различных температурах с разными металлами. Так, щелочные металлы легко окисляются кислородом воздуха и взаимодействуют с простыми веществами, железо и медь взаимодействуют с простыми веществами только при нагревании, золото и платиновые металлы не окисляются вообще. Многие металлы образуют на поверхности оксидную пленку, которая защищает их от дальнейшего окисления:



Менее энергично металлы взаимодействуют с серой:



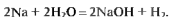
Трудно вступают в реакцию с азотом и фосфором:



Активные металлы взаимодействуют с водородом:

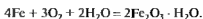


3. Взаимодействие с водой. Активные металлы (щелочные металлы) взаимодействуют с водой при обычных условиях с образованием гидроксидов и выделением водорода:



Коррозия металлов. Способы защиты от коррозии

Коррозией называют самопроизвольный процесс разрушения материалов и изделий из них под химическим воздействием окружающей среды. Коррозия металлов чаще всего сводится к их окислению и превращению в оксиды. В частности, коррозия железа может быть описана упрощенным уравнением



Гидратированный оксид железа $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ является ржавчиной. Это рыхлый порошок светло-коричневого цвета. Многие металлы при коррозии покрываются плотной, хорошо скрепленной с металлами оксидной пленкой, которая не позволяет кислороду воздуха и воде проникнуть в более глубокие слои и потому предохраняет металл от дальнейшего окисления. Например, алюминий — очень активный металл и теоретически с водой должен был бы взаимодействовать в соответствии с уравнением



Однако поверхность алюминия покрывается плотной пленкой оксида Al_2O_3 , которая защищает металл от воздействия воды и кислорода (процесс образования плотной защитной пленки называется пассивностью, а устойчивое к коррозии состояние, вызванное образованием подобной пленки — пассивным состоянием). По этой причине вода в алюминиевом чайнике при нагревании кипит, но не действует на металл, и потому чайник служит довольно долгое время. Поскольку в воздухе часто содержатся оксиды серы, азота, углерода и другие, а в воде — растворенные газы и соли, процесс коррозии и его продукты часто не столь простые: например, бронзовые статуи, корродируя, покрываются слоем зеленой патины, состав которой отвечает основному сульфату меди (II) $(\text{CuOH})_2\text{SO}_4$.

Коррозия металлов бывает **сплошной** и **местной**. При сплошной коррозии разрушению подвергается вся поверхность конструкции, при местной — какая-либо часть поверхности. *Сплошная коррозия* не представляет особой опасности для конструкций и аппаратов особенно в тех случаях, когда потери металлов не превышают технически обоснованных норм. Ее последствия могут быть сравнительно легко учтены.

Значительно опаснее *местная коррозия*, хотя потери металла здесь могут быть и небольшими. Местная коррозия возникает при определенных условиях среды (разная концентрация окислителя или температура) или видах эксплуатации (например, конструкция частично погружена в воду). Один из наиболее опасных видов местной коррозии — это *точечная*. Она заключается в образовании сквозных поражений, т.е. в образовании точечных полостей — так называемых *питтингов*. Местной коррозии благоприятствуют морская вода, растворы солей, в частности галогенидных (хлорид натрия, магния и др.). Опасность местной коррозии состоит в том, что, снижая прочность отдельных участков, она резко уменьшает надежность конструкций, сооружений, аппаратов.

По своей сущности коррозию делят на **химическую** и **электрохимическую**. Химическая происходит при непосредственном взаимодействии окислителя с металлом. Ржавление железа или покрытие патиной бронзы в отсутствие влаги — химическая коррозия. Если же в процессе коррозии происходит временное или пространственное разделение процессов окисления металла и восстановления окислителя, то наблюдается электрохимическая коррозия. Строго отделить химическую коррозию от электрохимической трудно, а иногда и невозможно.

Чаще всего процесс коррозии называют по названию среды в которой она происходит, например, если процессы происходят на открытом воздухе в комнатных и особенно в природных условиях, то коррозию называют *атмосферной*.

Коррозия металлов наносит большой экономический вред, поэтому важнейшей задачей химиков, металловедов является разработка методов защиты металлов от коррозии. В зависимости от характера коррозии и условий ее протекания применяются различные методы защиты металла от коррозии. Выбор того или иного способа определяется его эффективностью в данном конкретном случае, а также экономической целесообразностью.

Существуют три принципа замедления или торможения коррозионного процесса, т.е. защиты металлов: воздействие на металл; воздействие на среду; изменение свойств границы металл — среда.

Первый принцип базируется на изменении свойств самих металлов — **легировании** (т.е. внесение небольших количеств легирующих добавок, повышающих устойчивость к коррозии). Однако, существует лишь небольшое количество легирующих добавок (менее 2% от общего количества металлов), способных переводить металлы и сплавы в пассивное состояние.

Второй принцип позволяет увеличивать или уменьшать концентрацию окислителя или других частиц (например, уменьшать концентрацию влаги и кислорода, как основных коррозионных агентов), вводить специальные вещества, затрудняющие коррозию — **ингибиторы коррозии**. Эти методы защиты применяются при ограниченном объеме среды. В некоторых случаях используют искусственное ограничение объема агрессивной среды.

Наиболее распространены методы защиты, основанные на *третьем принципе*: **электрохимические** (*катодная, анодная*, — защищаемая конструкция подключается к отрицательному или положительному полюсу источника тока, вследствие чего изменяются электрические свойства металла, *протекторная* защита — защищаемая конструкция

подключается к более отрицательному металлу) и **нанесение защитных покрытий** (лакокрасочных, на основе пластмасс, металлических и неорганических).

Окислительно-восстановительные реакции

Процесс коррозии заключается в процессах окисления металлов и восстановлении окислителя, т.е. является окислительно-восстановительной реакцией.

Реакции, протекающие с изменением степени окисления атомов, входящих в состав реагирующих веществ, называют **окислительно-восстановительными**. Можно дать еще одну формулировку: окислительно-восстановительные реакции — это реакции, при которых происходит переход электронов от одних атомов или ионов к другим.

Рассмотрим **основные положения теории окислительно-восстановительных реакций**.

1. **Окислением** называется процесс отдачи электронов атомом, молекулой или ионом. Степень окисления при этом повышается. Например:

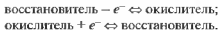


2. **Восстановлением** называют процесс присоединения электронов атомом, молекулой или ионом. Степень окисления при этом понижается. Например:



3. Атомы, молекулы или ионы, отдающие электроны, называют **восстановителями**. Во время реакции они окисляются. Атомы, молекулы или ионы, присоединяющие электроны, называют **окислителями**. Во время реакции они восстанавливаются.

4. Окисление всегда сопровождается восстановлением и, наоборот, восстановление всегда связано с окислением:



Правила вычисления степени окисления

При вычислении степени окисления в химических соединениях следует помнить:

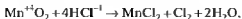
- 1) в целом молекула электронейтральна, т.е. суммарный заряд в молекуле равен нулю;

- 2) степень окисления атомов водорода +1, за исключением гидридов, где его степень окисления равна -1;
- 3) степень окисления атомов кислорода равна -2;
- 4) степень атомов окисления щелочных металлов +1.

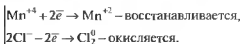
В ионных соединениях, содержащих простые анионы, степень окисления иона определяется его электрическим зарядом, например, Na^+Cl^- . В соединениях, содержащих сложные анионы, вначале составляют степени окисления над элементами, имеющими постоянные степени окисления. Например, в KMnO_4 степень окисления K^{+1} , O^{-2} . Исходя из алгебраической суммы зарядов атомов кислорода (-8) и калия (+1), можно определить степень окисления атома марганца, учитывая электронейтральность молекулы — Mn^{+7} .

Классификация окислительно-восстановительных реакций

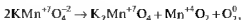
1. **Межмолекулярные реакции.** Это реакции, в которых окислитель и восстановитель являются различными веществами:



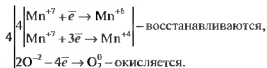
где Mn^{+4} — окислитель, Cl^{-1} — восстановитель;



2. **Реакции внутримолекулярного окисления.** Это реакции, которые протекают с изменением степеней окисления атомов различных элементов одного и того же вещества:



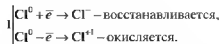
где Mn^{+7} — окислитель, а O^{-2} — восстановитель;



3. **Реакции диспропорционирования.** В этих реакциях и окислителем и восстановителем является элемент, находящийся в промежуточной степени окисления в составе одного и того же вещества:



где Cl_2^0 — окислитель и восстановитель;



При составлении уравнения окислительно-восстановительной реакции необходимо определить восстановитель, окислитель и число отдаваемых и принимаемых электронов. Как правило, коэффициенты подбирают, используя либо метод **электронного баланса**, либо метод электронно-ионного баланса (так называемый **метод полуреакций**).

В качестве примера составления уравнений окислительно-восстановительных реакций рассмотрим процесс окисления меди концентрированной азотной кислотой:



Прежде всего определим продукты реакции. HNO_3 является сильным окислителем, поэтому медь будет окисляться до Cu^{+2} , при этом HNO_3 восстанавливается до NO_2 :



Уравняем данную реакцию методом электронного баланса.

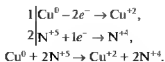
Процесс восстановления:



Процесс окисления:



Общий баланс:



Две молекулы HNO_3 идут на окисление Cu , и еще две молекулы HNO_3 нужны на образование $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$:



Чтобы уравнять водород и кислород, добавляем в правую часть две молекулы воды:



Неметаллы

Все неметаллы являются *p*-элементами, т.е. имеют не полностью застроенные *p*-орбитали. В пределах каждой главной подгруппы с возрастанием атомного номера элемента и радиуса атома неметаллические свойства ослабевают. В периодах слева направо с увеличением атомного номера и числа электронов на внешнем электронном слое неметаллические свойства усиливаются. Самый активный неметалл — фтор, так как у него самый малый радиус атома и самое большое число электронов на внешнем электронном слое.

Простые вещества — неметаллы могут иметь как атомное (Si, В), так и молекулярное (H₂, N₂, Br₂) строение, поэтому среди неметаллов есть газы (O₂, Cl₂), жидкости (Br₂), твердые вещества (С). Большинство неметаллов не электропроводны, имеют низкую теплопроводность, а твердые вещества хрупки.

У неметаллов преобладают окислительные свойства. Особенно сильные окислительные свойства, проявляют неметаллы, находящиеся во втором и третьем периодах VI–VII групп. В соответствии с численными значениями относительных электроотрицательностей окислительные способности неметаллов увеличивается в следующем порядке: Si, В, Н, Р, С, S, I, N, Cl, O, F. Следовательно, энергичнее всего взаимодействует с водородом и металлами фтор:

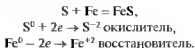


Также сильным окислителем является кислород.

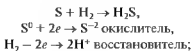
В этом отличие химических свойств неметаллов от химических свойств металлов. Но неметаллы могут проявлять свойства как окислителей, так и восстановителей, причем восстановительные свойства постепенно возрастают от кислорода к кремнию.

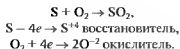
Примеры химических свойств

1. Взаимодействие с металлами:

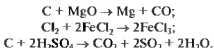


2. Взаимодействие с неметаллами:





3. Некоторые неметаллы могут реагировать и со сложными веществами (оксидами, кислотами, солями):



Способы получения неметаллов отличаются многообразием и специфичностью, общих подходов не существует. Рассмотрим основные способы получения некоторых неметаллов.

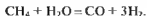
1. **Получение галогенов.** Самые активные галогены — фтор и хлор — получают электролизом. Фтор — электролизом расплава KHF_2 , хлор — электролизом расплава или раствора хлорида натрия:



Другие галогены можно также получить электролизом или вытеснением из их солей в растворе с помощью более активного галогена:



2. **Получение водорода.** Основной промышленный способ получения водорода — конверсия метана (каталитический процесс):



3. **Получение кремния.** Кремний получают восстановлением коксом из кремнезема:



4. **Получение фосфора.** Фосфор получают восстановлением из фосфата кальция, который входит в состав апатита и фосфорита:



5. **Кислород и азот** получают фракционной перегонкой жидкого воздуха.

6. **Сера и углерод** встречаются в природе в самородном виде.

К подгруппе галогенов относятся фтор, хлор, бром, йод и астат. Первые четыре элемента встречаются в природе, последний получен искусственно и поэтому изучен значительно меньше остальных галогенов. Все галогены имеют структуру внешней электронной

оболочки ns^2np^5 , поэтому они легко принимают электрон, образуя устойчивую электронную оболочку (ns^2np^6), подобно строению электронной оболочки инертных газов. Наименьший радиус атома в подгруппе — у фтора, у остальных он увеличивается в ряду $F < Cl < Br < I < At$. В таком же порядке уменьшается сродство атомов элементов к электрону. **Галогены** — очень активные элементы. Они могут отнимать электроны не только у атомов, которые их легко отдают, но и у ионов и даже вытеснять другие галогены, менее активные, из их соединений. Например фтор вытесняет хлор из хлоридов, бром из бромидов, а иод из иодидов.

Из всех галогенов только фтор, находящийся во II периоде, не имеет незаполненного d -уровня. По этой причине он не может иметь больше одного неспаренного электрона и проявляет валентность только $-I$. В атомах других галогенов d -уровень не заполнен, что дает им возможность иметь различное количество неспаренных электронов и проявлять валентность $-1, +1, +3, +5$ и $+7$, наблюдающуюся в кислородных соединениях хлора, брома и иода.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие вещества относятся к электролитам? Перечислите основные положения теории электролитической диссоциации.

2. Приведите формулу для расчета степени диссоциации. Что она показывает?

3. Из перечисленных ниже веществ выделить:

- а) электролиты сильные;
- б) электролиты слабые (и средней силы);
- в) неэлектролиты.

Гидроксид натрия, хлорид натрия, гидроксид аммония, глюкоза, соляная кислота, уксусная кислота, бензол (C_6H_6), вода, ацетат аммония, сахароза ($C_{12}H_{22}O_{11}$), сульфат цинка, этанол (C_2H_5OH), алюминат калия, сероводородная кислота, гидрокарбонат кальция, азотная кислота.

4. Напишите формулы веществ и уравнения диссоциации электролитов. Какое количество катионов и анионов дадут при диссоциации следующие количества веществ.

Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
А) 2 моль $NaCl$	А) 4 моль H_2SO_4	А) 2 моль $Al_2(SO_4)_3$
Б) 3 моль $Zn(NO_3)_2$	Б) 2 моль $Al(NO_3)_3$	Б) 3 моль Na_2HPO_4
В) 2 моль H_2SO_3	В) 3 моль Na_2SiO_3	В) 4 моль $Fe_2(CO_3)_3$

5. Какие неорганические соединения называются оксидами? Приведите химические реакции, характеризующие свойства оксидов.

6. Какие неорганические соединения называются основаниями? Приведите химические реакции, характеризующие свойства оснований.

7. Какие неорганические соединения называются кислотами? Приведите химические реакции, характеризующие свойства кислот.

8. Какие неорганические соединения называются солями? Приведите химические реакции, характеризующие свойства солей.

9. В каких формах могут находиться металлы в природе? Как можно получить металлы из их соединений?

ГЛАВА 7. ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

7.1. Теория строения органических соединений

На Земле имеется огромное количество разнообразных веществ. Одни из них нам дарит природа, другие создает искусственно сам человек. Все эти вещества делят на два больших класса — органические и неорганические. В чем их отличие?

Органические вещества отличаются от неорганических тем, что в их состав обязательно входит углерод. В настоящее время к органическим веществам относят и такие, которые не имеют прямого отношения к живым и растительным объектам. Более того, некоторые из них, полученные человеком с помощью синтеза, просто не могут существовать в живых организмах. Однако **единственным критерием всех органических соединений является наличие в них одного или нескольких углеродных атомов**. Существуют простые вещества, которые также содержат углерод (СО, СО₂, соли угольной кислоты и др.). Но эти соединения не обладают свойствами органических соединений.

Кроме углерода органические вещества почти всегда содержат водород, довольно часто — кислород и азот, несколько реже — галогены, серу, фосфор и многие другие элементы. Некоторые из них (Н, О, N, S, галогены) называют органогенами, так как они играют важную роль в построении органических соединений. Таким образом, органическая химия изучает соединения углерода со многими элементами. **Атом углерода в органических соединениях всегда четырехвалентен.**

Если в состав молекулы органического вещества входят атомы только углерода и водорода, то такие вещества называются углеводородами. В зависимости от количества связей между соседними атомами углерода, различают следующие классы углеводородов:

- а) **насыщенные углеводороды**. В молекулах данных органических веществ все связи между углеродными атомами одинарные (σ -связи), а все остальные связи заняты (насыщены) атомам водорода (также только σ -связи). Этот класс также называется **алканами**. Примером может служить молекула метана CH_4 ;
- б) **ненасыщенные углеводороды** могут содержать в составе молекулы кратные связи: двойные (**алкены**) $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ этен, две двойные (**алкадиены**) $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$ бутadiен или тройную связь (**алкины**) $\text{CH}\equiv\text{CH}$ этин;

- в) **ароматические углеводороды** — это соединения, молекулы которых содержат устойчивые циклические группы атомов (бензольные ядра) с особым характером химических связей. Представителем данного класса является бензол C_6H_6 .

Уникальность атома углерода, как уже отмечалось, — это его способность образовывать устойчивые связи с другими элементами, причем самого широкого спектра от металлов до неметаллов. Если связанные с атомом углерода атомы или группы атомов определяют химические свойства образуемых органических соединений, то такие группы атомов называют **функциональными группами** (табл. 7.1). В таблице приведены примеры функциональных групп и названия классов органических соединений, к которым относятся органические вещества, молекулы которых содержат данные группы (чертой показано число связей, образуемых данной группой с углеродным скелетом).

Таблица 7.1

Функциональная группа	Название функциональной группы	Класс органических соединений
$-Cl, -Br, -I, -F$	Галогены	Галогенпроизводные углеводородов
$-OH$	Гидроксильная группа	Спирты
$\diagup \text{C} = \text{O}$	Карбонильная группа	Альдегиды, кетоны
$\begin{array}{l} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{C} \\ \diagdown \text{H} \\ -\text{COOH} \end{array}$	Карбоксильная группа	Карбоновые кислоты
$-NH_2$	Аминогруппа	Амины
$-NO_2$	Нитрогруппа	Нитросоединения

Молекулы некоторых органических соединений могут содержать две и более функциональных групп. Такие соединения называются полифункциональными, примером могут служить аминокислоты, содержащие в составе молекулы и amino-, и карбоксильную группы.

Группа органических соединений, имеющих одинаковое строение молекулы (содержащих в составе молекулы одинаковую функциональную группу, или одинаковое количество кратных связей), но отличающиеся друг от друга числом углеродных атомов в скелете, называются **гомологическим рядом**. Каждый последующий член гомологического ряда отличается от предыдущего на гомологическую разность $-CH_2$.

Теорией, объясняющей особые свойства органических соединений и позволяющей прогнозировать получение новых органических со-

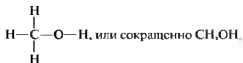
единений, является теория химического строения органических соединений А. М. Бутлерова (1828—1886).

Основные положения теории А. М. Бутлерова:

- 1) атомы в молекулах соединены друг с другом химическими связями в соответствии с их валентностью;
- 2) атомы в молекулах органических веществ соединяются между собой в определенной последовательности, что обуславливает химическое строение молекулы;
- 3) свойства органических соединений зависят не только от числа и природы входящих в их состав атомов, но и от химического строения молекул;
- 4) в молекулах существует взаимное влияние атомов как связанных, так и непосредственно друг с другом не связанных;
- 5) химическое строение вещества можно определить в результате изучения его химических превращений и, наоборот, по строению вещества можно характеризовать его свойства.

Важным следствием теории строения был вывод о том, что каждое органическое соединение должно иметь одну химическую формулу, отражающую ее строение. Для изображения строения органических соединений используются формулы строения, называемые также структурными формулами.

В структурных формулах органических соединений каждая химическая связь обозначается чертой между химическими символами связываемых атомов. Например, для метилового спирта можно представить единственно возможную последовательность связей с учетом валентности связываемых атомов в виде следующей формулы:



Для упрощения формул и ускорения их написания связи (черточки) между атомами углерода и водорода обычно не указывают и символы атомов водорода пишутся слитно с символами атомов углерода, с которыми они связаны. Упрощенные формулы строения иногда называют *рациональными*.

Одному и тому же составу могут соответствовать два различных органических соединения, отличающихся строением, т.е. последовательностью связи атомов. Такими соединениями будут этиловый спирт (жидкое вещество) и диметиловый эфир (газообразное вещество), отличающиеся физическими и химическими свойствами.

Формула: C ₂ H ₆ O	
CH ₃ -CH ₂ -OH	CH ₃ -O-CH ₃
Этиловый спирт $T_{\text{кип}} = 78\text{ }^{\circ}\text{C}$	Диметиловый эфир $T_{\text{кип}} = -24\text{ }^{\circ}\text{C}$

Таким образом, на рассмотренном примере двух соединений — этилового спирта и диметилового эфира — можно легко убедиться в проявлении действия одного из основных положений теории строения, а именно зависимости свойств веществ не только от состава, но и от строения молекул. С другой стороны — этот пример показывает сущность свойственного органическим соединениям важнейшего явления — **изомерии** (от греч. isos — равный), т.е. возможности существования нескольких различных веществ, обладающих различными свойствами, но имеющих при этом один и тот же состав и одинаковую молекулярную массу. Явление изомерии было известно еще в XIX в. (1830), но оно не могло быть объяснено в то время ни одной из существовавших теорий. Только теория строения А. М. Бутлерова дала явлению изомерии простое и исчерпывающее объяснение.

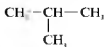
Итак, **изомеры** — это вещества, которые имеют одинаковую молекулярную формулу, но различное химическое строение, а поэтому обладают разными свойствами.

Различают следующие **виды изомерии**:

I. Структурная изомерия — результат различий в химическом строении. К этому типу относятся, например, изомерия углеродного скелета, обусловленная различным порядком связи атомов углерода, как у бутана — изобутана:

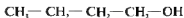


Бутан

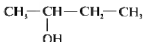


Изобутан

Изомерия положения. обусловленная различным положением функциональных групп

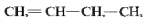


Бутанол-1

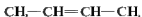


Бутанол-2

или кратных связей при одинаковом типе углеродного скелета.



Бутен-1



Бутен-2

Межклассовая изомерия — структурные изомеры могут принадлежать к разным классам органических соединений, например этиловый спирт и диметиловый эфир (см. выше).

II. Пространственная изомерия (стереоизомерия) возникает в результате различий в пространственной конфигурации молекул, имеющих одинаковое химическое строение. Примером может служить строение молекулы бутен-2, в молекулах которого может быть различие в положении заместителей относительно плоскости кратной связи (рис. 7.1).

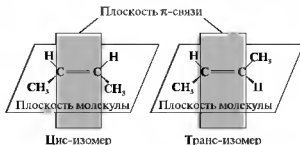


Рис. 7.1

Цис-изомер характеризуется расположением одинаковых заместителей по одну сторону от плоскости кратной связи, транс-изомер — разных заместителей.

Итак, **изомерия** — одно из наиболее своеобразных проявлений специфики и особенности органической химии.

7.2. Углеводороды

Алканами (предельными углеводородами, парафинами) называются органические вещества, в молекулах которых все связи между атомами углерода одинарные, а все остальные связи атомов углерода заняты (насыщены) атомами водорода.

Общая формула членов гомологического ряда C_nH_{2n+2} .

Таким образом, первому члену гомологического ряда соответствует формула CH_4 , второму — C_2H_6 , третьему — C_3H_8 и т.д.

По **систематической номенклатуре ИЮПАК¹** приняты следующие названия членов гомологического ряда алканов.

Молекулярная формула	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	C_6H_{14}	C_7H_{16}	C_8H_{18}	C_9H_{20}	$C_{10}H_{22}$
Название	Метан	Этан	Пропан	Бутан	Пентан	Гексан	Гептан	Октан	Нонан	Декан

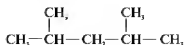
¹ ИЮПАК (IUPAC) — Международный союз теоретической и прикладной химии

Если от молекулы алкана «отнять» один атом водорода, то образуется одновалентный «остаток» — углеводородный радикал ($R-$). Общее название одновалентных радикалов алканов — алкилы — образовано заменой суффикса *-ан* на *-ил*: метан — *метил*, этан — *этил*, пропан — *пропил* и т.д.

Одновалентные радикалы выражаются общей формулой C_nH_{2n+1} .

В молекулах алканов углеродный скелет может быть линейным и разветвленным. Члены гомологического ряда в молекуле содержат линейный скелет и обозначаются «*n*-» (нормальный) алкан (например, *n*-пентан). В основе названия разветвленного алкана лежит название входящего в его конструкцию нормального алкана с наиболее длинной углеродной цепью. При этом углеводород с разветвленной цепью рассматривают как продукт замещения атомов водорода в нормальном алкане углеводородными радикалами.

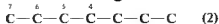
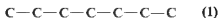
Например, алкан



рассматривается как замещенный *пентан*, в котором два атома водорода замещены на радикалы $-\text{CH}_3$ (*метил*).

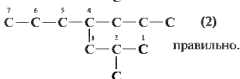
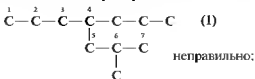
Порядок построения названия разветвленного алкана.

- Выбрать в молекуле главную углеродную цепь. *Во-первых*, она должна быть самой длинной. *Во-вторых*, если имеются две или более одинаковые по длине цепи, то из них выбирается наиболее разветвленная. Например, в молекуле есть две цепи с одинаковым числом (7) атомов С:



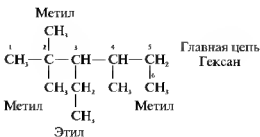
В случае (1) пронумеруем слева направо горизонтальную цепь, цепь имеет один заместитель, а в (2) — два, поэтому следует выбрать вариант (2).

- Пронумеровать атомы углерода в главной цепи так, чтобы атомы С, связанные с заместителями, получили возможно меньшие номера, поэтому нумерацию начинают с ближайшего к ответвлению конца цепи. Например:



- Назвать все радикалы (заместители), указав впереди цифры, обозначающие их местоположение в главной цепи. Если есть несколько одинаковых заместителей, то для каждого из них через запятую записывается цифра (местоположение), а их количество указывается приставками *ди-*, *три-*, *тетра-*, *пента-* и т.д. (например, 2,2-диметил или 2,3,3,5-тетраметил).
- Названия всех заместителей расположить в алфавитном порядке (так установлено последними правилами ИЮПАК).
- Назвать главную цепь углеродных атомов, т.е. соответствующий нормальный алкан.
- Таким образом, в названии разветвленного алкана корень + суффикс — название нормального алкана (греч. числительное + суффикс *-ан*), приставки — цифры и названия углеводородных радикалов.

Пример построения названия:



2,2,4-триметил-3-этилгексан

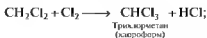
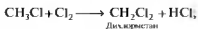
Химические свойства алканов обусловлены свойствами одинарной связи между атомами углерода. Такая связь называется σ -связью. Из-за ее высокой прочности реакционная способность алканов мала, и для них наиболее характерны реакции замещения атомов водорода:

Галогенирование. Галогенирование алканов — реакция замещения одного или более атомов водорода в молекуле алкана на галоген. Продукты реакции называют *галогеналканами* или *галогенопроизводными алканов*. Реакция алканов с хлором и бромом идет на свету или при нагревании.

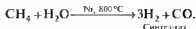
Хлорирование метана:



При достаточном количестве хлора реакция продолжается дальше и приводит к образованию смеси продуктов замещения двух, трех и четырех атомов водорода:



Важное значение имеет реакция взаимодействия метана с водяным паром, в результате которой образуется смесь оксида углерода (II) с водородом — «синтез-газ»:



Эта реакция используется для получения водорода. Синтез-газ служит сырьем для получения различных углеводородов.

Применение метана:

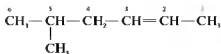
- 1) топливо;
- 2) продукты хлорирования используются в огнетушителях, а так же как снотворное, или растворитель;
- 3) производство продукта дегидрирования-ацетилена;
- 4) продукт конверсии — синтез-газ. Используется для производства метанола и формальдегида, а, следовательно, и полимеров, медикаментов и денатурирующих и дезинфицирующих материалов. Также из синтез-газа изготавливаются аммиак и удобрения.

Алкены (этиленовые углеводороды) — непредельные алифатические углеводороды, молекулы которых содержат двойную связь. **Общая формула** ряда алкенов C_nH_{2n} .

Простейшие представители:



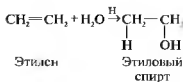
По систематической номенклатуре названия алкенов составляются по названию соответствующего алкана с суффиксом *-ен*. При названии изомеров алкенов с разветвленным углеродным скелетом соблюдаются те же правила, что и при названии изомеров алканов, но нумерации цепи начинается с того конца молекулы, к которому ближе расположена двойная связь (признак класса). Цифра, обозначающая положение двойной связи, ставится после суффикса *-ен*. Например:



5-метилгексен-2

Строение молекулы алкенов. Двойная связь в молекуле алкенов является сочетанием σ - и π -связей (хотя она изображается двумя одинаковыми черточками, всегда следует учитывать их неравноценность). По своей природе σ -связь резко отличается от π -связи: π -связь менее прочная. Поэтому для алкенов характерны реакции присоединения по месту разрыва двойной связи.

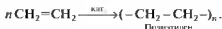
Гидратация (присоединение воды) происходит в присутствии минеральных кислот:



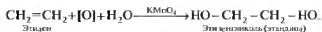
Полимеризация алкенов. *Полимеризация* — реакция образования высокомолекулярного соединения (полимера) путем последовательного присоединения молекул низкомолекулярного вещества (мономера) друг к другу по схеме:



Число n называется степенью полимеризации. Реакции полимеризации алкенов идут в результате присоединения по кратным связям:

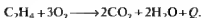


Реакции окисления алкенов. Строение продуктов окисления алкенов зависит от условий реакции и природы окислителя. Мягкое окисление алкенов водным раствором перманганата калия приводит к образованию двухатомных спиртов (*реакция Вагнера*):



В ходе этой реакции происходит обесцвечивание фиолетовой окраски водного раствора KMnO_4 , поэтому она используется как *качественная реакция* на алкены.

Полное окисление (горение):



Этилен является ведущим продуктом основного органического синтеза и **применяется** для получения следующих соединений (перечислены в алфавитном порядке): винилацетат; дихлорэтан/винилхлорид (третье место, 12% всего объема); окись этилена (второе место, 14–15% всего объема); полиэтилен (первое место, до 60% всего объема); стирол; уксусная кислота; этилбензол; этиленгликоль; этиловый спирт.

Этилен в смеси с кислородом использовался в медицине для наркоза вплоть до середины 80-х гг. XX в. в СССР и на Ближнем Востоке. Этилен является фитогормоном практически у всех растений, среди прочего отвечает за опадание иголок у хвойных.

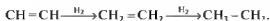
Алкины (ацетиленовые углеводороды) — непредельные алифатические углеводороды, молекулы которых содержат одну тройную связь.

Общая формула алкинов $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}$.

Простейшим представителем является этин $\text{CH}\equiv\text{CH}$ (ацетилен). Названия *алкинов* (линейных и изомеров) производятся от названий соответствующих алканов и по тем же правилам, которые использовали при составлении названий алкенов, с суффиксом *-ин*.

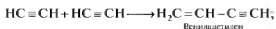
Строение молекулы алкинов. Тройная связь является комбинацией из одной σ - и двух π -связей. Следовательно, для данного класса также характерны реакции присоединения по месту разрыва связей.

Гидрирование. В присутствии металлических катализаторов (Pt, Ni) алкины присоединяют водород с образованием алкенов (разрывается первая π -связь), а затем алканов (разрывается вторая π -связь):

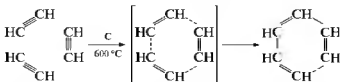
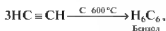


Полимеризация:

а) димеризация под действием водно-аммиачного раствора CuCl :



б) тримеризация ацетилена над активированным углем приводит к образованию бензола (реакция Зелинского):

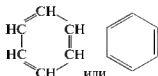


Ацетилен используют для так называемой автогенной сварки и резки металлов. Для этого нужны два баллона с газами — с кислородом и с ацетиленом. Газы из баллонов поступают в специальную горелку. При сгорании ацетилена в кислороде получается очень горячее пламя; максимальная его температура (3200°C) достигается при содержании ацетилена 45% по объему. В таком пламени очень быстро расплавляются даже толстые куски стали. Используется также как источник очень яркого, белого света в автономных светильниках, где он получается реакцией карбида кальция и воды (*карбидка*). Ацетилен может служить исходным продуктом для синтеза многих более сложных органических соединений. Эта область применения ацетилена в настоящее время является самой обширной. Ацетилен — реакционноспособное соединение, вступающее в многочисленные реакции. Химия ацетилена богата. Из него можно получить сотни разнообразных соединений. Он используется в производстве взрывчатых веществ (ацетилениды), для получения уксусной кислоты, этилового спирта, растворителей, пластических масс, каучука, ароматических углеводородов.

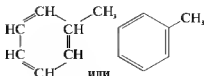
Арены или ароматические углеводороды — это соединения, молекулы которых содержат устойчивые циклические группы атомов (бензольные ядра) с особым характером химических связей. Различают **моноядерные** (бензол и его гомологи) и **многоядерные ароматические**

углеводороды. В зависимости от способа соединения бензольных колец между собой многоядерные в свою очередь разделяются на *изолированные* (не имеющие общих для колец атомов углерода, представитель дифенил) и *конденсированные* (имеющие общие углеродные атомы, представитель нафталин).

Простейшие представители (моноядерные арены):



Бензол C_6H_6

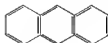


Толуол $C_6H_5CH_3$

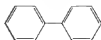
Многоядерные арены: нафталин $C_{10}H_8$, антрацен $C_{14}H_{10}$ и др.:



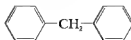
Нафталин



Антрацен

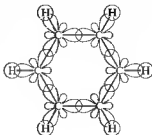


Дифенил



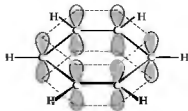
Дифенилметан

Каждый из шести атомов углерода в молекуле бензола находится в особом состоянии — sp^2 -гибридизации и связан с двумя соседними атомами углерода и атомом водорода тремя σ -связями. Валентные углы между каждой парой σ -связей равны 120° . Таким образом, скелет σ -связей представляет собой правильный шестиугольник, в котором все атомы углерода и все σ -связи C—C и C—H лежат в одной плоскости:

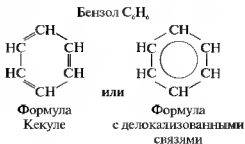


При этом p -электроны всех атомов углерода взаимодействуют между собой путем бокового перекрывания соседних $2p$ -атомных ор-

биталей, расположенных перпендикулярно плоскости σ -скелета бензольного кольца. Они образуют единое циклическое π -электронное облако, сосредоточенное над и под плоскостью кольца:



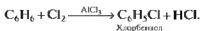
Исходя из этого структурную формулу бензола изображают в виде правильного шестиугольника (σ -скелет) и кружка внутри него, обозначающего делокализованные π -связи:



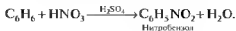
Сокращенные формулы

Для бензола, вследствие электронного строения молекул, характерны реакции замещения, но для гомологов бензола следует соблюдать правила ориентации заместителей.

А. Галогенирование. Замещение атома водорода в бензольном кольце на галоген происходит в присутствии катализаторов:



Б. Нитрование. Бензол реагирует с нитрующей смесью (смесью концентрированных азотной и серной кислот):



Бензол входит в десятку важнейших веществ химической промышленности. Большую часть получаемого бензола используют для синтеза других продуктов:

- около 50% бензола превращают в этилбензол (алкилирование бензола этиленом);
- около 25% бензола превращают в кумол;
- около 10% бензола расходуется на производство нитробензола.

В существенно меньших количествах бензол используется для синтеза некоторых других соединений. Изредка и в крайних случаях, ввиду высокой токсичности, бензол используется в качестве растворителя. Кроме того, бензол входит в состав бензина. Ввиду высокой токсичности его содержание новыми стандартами ограничено введением до 1%.

Многочисленные источники органических соединений можно разделить на две группы: **природные** (нефть и газ, угли, торф, сланцы, озокерит, продукты лесного хозяйства, сельскохозяйственные отходы) и **синтетические** (органический синтез). Если из природных источников органические вещества выделяют в основном в готовом виде или получают переработкой природного сырья, то лабораторные методы позволяют получать органические соединения посредством органического синтеза — искусственно.

Нефть. Нефть — это жидкий горючий маслообразный минерал, имеющий окраску от светло-желтой до темно-коричневой и почти черной. Нефть легче воды и растворяется в ней крайне мало. Нефть в основном состоит из углерода (83—87%) и водорода (12—14%), входящих в состав сложной смеси углеводородов. Кроме углеводородной, в нефти имеется небольшая неуглеводородная часть и механические примеси.

Углеводородная часть нефти состоит из парафиновых (алканов), нафтеновых (цикланов) и ароматических углеводородов. Газообразные парафиновые углеводороды (от CH_4 до C_4H_{10} включительно) присутствуют в нефти в растворенном состоянии и при выходе нефти на поверхность выделяются из нее в виде попутных газов. Жидкие парафиновые углеводороды (от C_5H_{12} до $\text{C}_{15}\text{H}_{32}$ включительно) составляют основную массу жидкой части нефти. Твердые парафиновые углеводороды (от $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ и выше) растворены в нефти и могут быть из нее выделены. Нафтеновые углеводороды в нефтях представлены главным образом производными циклопентана и циклогексана. Ароматические углеводороды представлены в небольшом количестве в виде бензола и его гомологов (с одним, двумя, тремя и четырьмя заместителями в ядре). Встречаются только отдельные нефти с незначительным содержанием непредельных углеводородов.

Наряду с углеродом и водородом во всех нефтях присутствует сера, кислород и азот в сумме 2—3%. В очень малых количествах в нефтях присутствуют различные металлы. Механические примеси представлены в виде песка, глины.

Нефть имеет огромное народнохозяйственное значение, она — основной источник горючего и сырья для химической промышленности.

Газы. В зависимости от происхождения газы делятся на природные, попутные и искусственные (газы нефтепереработки).

Природные газы добываются из самостоятельных месторождений. В природных газах содержатся метан, этан, пропан, бутан, а также некоторое количество растворенных углеводородов C5—C7, жидких при обычных условиях. Смесь этих углеводородов, известную под названием газового или природного бензина, выделяют из природного газа сжижением. Из остаточного газа выделяют метан, а также небольшое количество этана и пропана, которые идут на химическую переработку. Много остаточного газа используется в качестве топлива в промышленности и в быту.

Попутные газы — газы, растворенные в нефти и вместе с нею выходящие на поверхность. В состав попутных газов входят предельные углеводороды от метана до гексана включительно. Вещества, содержащиеся в газах, являются сырьем для производства синтетического каучука, спиртов, растворителей, моющих средств, а также используются в качестве топлива. Таким образом, газы являются не только дешевым и удобным топливом, но и ценнейшим сырьем для химической промышленности.

Каменный уголь — источник очень многих органических продуктов. При переработке каменного угля можно получать до 200 различных веществ. Уголь — один из важнейших и перспективных видов химического сырья, так как его мировые запасы намного превышают запасы нефти и газа.

Битуминозные и горючие сланцы дают химической промышленности многие ценные продукты, в том числе сланцевое масло, из которого получают бензин и другие виды топлива, а также масла, битум и т.д. Различные виды природных сланцев можно перерабатывать в бытовую газ.

Торф является источником предельных углеводородов, органических кислот, фенола. Из торфа получают воски (торфяные).

Целлюлоза является основной частью древесины. Из целлюлозы получают бумагу, искусственное волокно, спирты, эфиры, эфирные масла

Из **сельскохозяйственного сырья** (или его отходов) получают крахмал, глюкозу, витамины и другие продукты.

7.3. Кислородсодержащие органические соединения

Спиртами называют производные углеводородов, содержащие группу (или несколько групп) —ОН, называемую гидроксильной группой или гидроксилем.

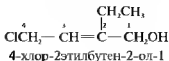
Классификация спиртов. По числу гидроксильных групп, содержащихся в молекуле, спирты делятся на **одноатомные** (с одним гидроксилем), **двухатомные** (с двумя гидроксильными), **трехатомные** (с тремя гидроксильными) и многоатомные.

Подобно предельным углеводородам, одноатомные спирты образуют закономерно построенный ряд гомологов:



Как и в других гомологических рядах, каждый член ряда спиртов отличается по составу от предыдущего и от последующего на гомологическую разность (—СН₂—), поэтому, в соответствии с номенклатурой ИЮПАК, при построении названия одноатомного спирта с линейной молекулой к названию родоначального углеводорода (имеющего столько же углеродных атомов в цепи) добавляется окончание *-ол*. Например: СН₄ — метан, СН₃ОН — метанол.

При наличии в соединении с ароматическими углеводородами или другими производными углеводородов (например, карбоновыми кислотами) гидроксильная группа обозначается префиксом *гидрокси-* (в русском языке часто используется префикс *окси-*). Правила названия спиртов, молекулу которых образует разветвленный углеродный скелет, такие же, как и при наличии любого другого признака класса (например, кратной связи). В качестве основной цепи выбирается наиболее длинная неразветвленная цепь углеродных атомов, в состав которой входит атом углерода, связанный с гидроксильной группой; если соединение является ненасыщенным, то в эту цепь включается также и кратная связь. Следует заметить, что при определении номера нумерации гидроксильная функция обычно имеет преимущество перед галогеном, двойной связью и радикалом, следовательно нумерацию начинают с того конца цепи, ближе к которому расположена гидроксильная группа:

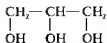


Если в углеводороде заместить два атома водорода у разных углеродных атомов на разные гидроксильные группы, образуются **двухатомные спирты, или гликоли**:



Этадиол-2, или этиленгликоль

Трехатомные спирты, называемые также глицеринами, содержат три гидроксильные группы:



Пропантриол-1,2,3, или глицерин

Названия многоатомных спиртов составляются подобно одноатомным, но для указания числа гидроксильных групп используют перед окончанием *-ол* соответствующее греческое числительное (*-ди-*, *-три-*).

В зависимости от того, при каком атоме углерода находится гидроксильная группа, различают **первичные, вторичные, и третичные спирты**:

$\text{R}-\text{CH}_2\text{OH}$ <p>Первичный спирт</p>	$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-\text{OH}$ <p>Этанол</p>
$\begin{array}{l} \text{R} \\ \diagdown \\ \text{C}-\text{OH} \\ \diagup \\ \text{R} \end{array}$ <p>Вторичный спирт</p>	$\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_5-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \\ \text{H} \end{array}$ <p>1-фенилбутанол-2</p>
$\begin{array}{l} \text{R} \\ \diagdown \\ \text{C}-\text{OH} \\ \diagup \\ \text{R} \end{array}$ <p>Третичный спирт</p>	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_3 \\ \\ \text{OH} \end{array}$ <p>2-метилбутанол-2</p>

Иногда, для упрощения, одноатомные спирты называют по *радикалам*, с которыми соединена гидроксильная группа, например: $(\text{CH}_3)_2\text{CHOH}$ — изопропиловый спирт, $(\text{CH}_3)_3\text{COH}$ — *трет*-бутиловый спирт.

По строению радикалов, связанных с атомом кислорода, спирты подразделяются на **предельные** (например, $\text{CH}_3\text{CH}_2-\text{OH}$), **непредельные** ($\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{OH}$) и **ароматические** ($\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2-\text{OH}$).

Спирты, в молекулах которых OH -группы связаны непосредственно с бензольным ядром, называются **фенолами**:



Химические свойства одноатомных спиртов

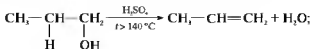
1. **Реакции с разрывом связи $\text{CO}-\text{H}$.** Реакции спиртов, происходящие с разрывом связи $\text{CO}-\text{H}$, характеризуют кислотные свойства спиртов:



В результате образуются соли спиртов (алкоголяты), в данном случае метилат натрия. Фенолы обладают более сильными кислотными свойствами.

2. **Реакции дегидратации спиртов.** Отщепление воды от молекул спирта (дегидратация спиртов) в зависимости от условий происходит как **внутримолекулярная** или **межмолекулярная** реакция:

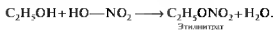
- внутримолекулярная дегидратация спиртов с образованием алкенов идет в присутствии концентрированной серной кислоты при нагревании выше 140°C . Например:



- межмолекулярная дегидратация спиртов происходит при температуре ниже 140°C с образованием:
 - а) простых эфиров (для **фенолов** реакции этого типа не характерны, поскольку атом кислорода прочно связан с атомом углерода бензольного кольца за счет участия своей неподеленной электронной пары в системе сопряжения);

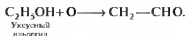


- б) сложных эфиров (спирты вступают в реакции с минеральными и органическими кислотами, образуя сложные эфиры):

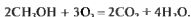


Реакция обратима (обратный процесс — гидролиз сложных эфиров).

3. **Окисление.** Первичные спирты при окислении образуют альдегиды, которые затем легко окисляются до карбоновых кислот.

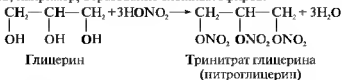


Предельное окисление происходит при горении, например:

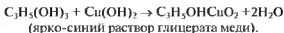


Химические свойства глицерина

Для глицерина характерны все реакции предельных одноатомных спиртов, например, образование сложных эфиров:



Качественной реакцией на глицерин является взаимодействие с гидроксидом меди:



К классу **карбоновых кислот** относятся соединения, содержащие карбоксильную группу —COOH:

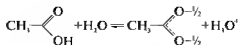


Номенклатура **ИЮПАК** разрешает сохранять тривиальные названия карбоновых кислот, которые обыкновенно указывают на природный источник, из которого была выделена кислота: HCOOH — муравьиная, CH₃COOH — уксусная и т.д.

Начиная с C₁₀, карбоновые кислоты называются *высшими*: C₁₅H₃₁COOH — пальмитиновая, C₁₆H₃₃COOH — маргариновая, C₁₇H₃₅COOH — стеариновая.

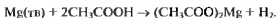
По номенклатуре **ИЮПАК** названия кислот составляются по названиям соответствующих алканов с окончанием *-овая* и словом «кислота»: HCOOH — метановая кислота, CH₃COOH — этановая кислота.

Уксусная кислота обладает всеми свойствами карбоновых кислот. Связь между водородом и кислородом карбоксильной группы (—COOH) карбоновой кислоты является сильно полярной, вследствие чего эти соединения способны легко диссоциировать и проявляют кислотные свойства. Диссоциация уксусной кислоты в воде:



В результате диссоциации уксусной кислоты образуется ацетат-ион CH_3COO^- и протон H^+ .

Уксусная кислота способна взаимодействовать с активными металлами. При этом выделяется водород и образуются соли — ацетаты:



Уксусная кислота может хлорироваться действием газообразного хлора. При этом образуется хлоруксусная кислота:



Этим путем могут быть получены также дихлоруксусная (CCl_2COOH) и трихлоруксусная (CCl_3COOH) кислоты.

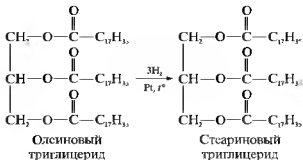
Уксусную кислоту, концентрация которой близка к 100%, называют ледяной. 70—80%-ный водный раствор уксусной кислоты называют *уксусной эссенцией*, а 3—6%-ный — *уксусом*. Водные растворы уксусной кислоты широко используются в пищевой промышленности (пищевая добавка E260) и бытовой кулинарии, а также в консервировании. Уксусную кислоту применяют для получения лекарственных и душистых веществ в качестве растворителя (например, в производстве ацетилцеллюлозы, ацетона). Она используется в книгопечатании и крашении. Уксусная кислота используется как реакционная среда для проведения окисления различных органических веществ. В лабораторных условиях это, например, окисление органических сульфидов пероксидом водорода, в промышленности — окисление пара-ксилола кислородом воздуха в терефталевую кислоту.

Жиры — сложные эфиры глицерина и высших одноатомных карбоновых кислот:



Общее название таких соединений — триглицериды или триацил-глицерины, где ацил — остаток карбоновой кислоты $-C(O)R$. В состав природных триглицеридов входят остатки насыщенных кислот (пальмитиновой $C_{15}H_{31}COOH$, стеариновой $C_{17}H_{35}COOH$) и ненасыщенных (олеиновой $C_{17}H_{33}COOH$, линолевой $C_{17}H_{29}COOH$).

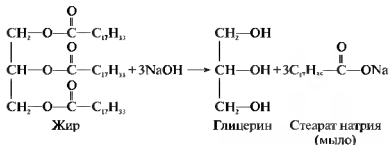
Жиры содержатся во всех растениях и животных. Животные жиры (бараний, свиной, говяжий и т.п.), как правило, являются твердыми веществами с невысокой температурой плавления (исключение — рыбий жир). Жиры состоят главным образом из триглицеридов предельных кислот. Растительные жиры — масла (подсолнечное, соевое, хлопковое и др.) — жидкости (исключение — кокосовое масло). В состав триглицеридов масел входят остатки непредельных кислот. Жидкие жиры превращают в твердые путем реакции гидрогенизации (гидрирования). При этом водород присоединяется по двойной связи, содержащейся в углеводородном радикале молекул масел.



Продукт гидрогенизации масел — твердый жир (искусственное сало, *саломас*). *Маргарин* — пищевой жир, состоит из смеси гидрогенизированных масел (подсолнечного, кукурузного, хлопкового и др.), животных жиров, молока и вкусовых добавок (соли, сахара, витаминов и др.).

Жирам как сложным эфирам свойственна обратимая реакция гидролиза, катализируемая минеральными кислотами. При участии щелочей гидролиз жиров происходит необратимо. Продуктами в этом случае являются **мыла** — соли высших карбоновых кислот и щелочных металлов.

Натриевые соли — твердые мыла, калиевые — жидкие. Реакция щелочного гидролиза жиров, и вообще всех сложных эфиров, называется также *омылением*.

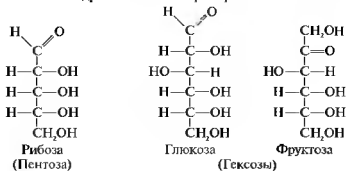


Углеводы (сахариды, сахара) — органические вещества, состав которых выражается формулой $\text{C}_x(\text{H}_2\text{O})_y$, где x и $y > 3$. Углеводы содержатся в клетках растительных и животных организмов и по массе составляют основную часть органического вещества на Земле. Эти соединения образуются растениями в процессе фотосинтеза из углекислого газа и воды. Животные организмы не способны синтезировать углеводы и получают их с растительной пищей. Фотосинтез можно рассматривать как процесс **восстановления** CO_2 с использованием солнечной энергии. Эта энергия затем освобождается в животных организмах в результате метаболизма углеводов, который заключается, с химической точки зрения, в их **окислении**.

По способности к гидролизу углеводы делятся на простые — **моносахариды** и сложные — **дисахариды** и **полисахариды**. Моносахариды не гидролизуются с образованием более простых углеводов. Сложные углеводы гидролизуются до моносахаридов.

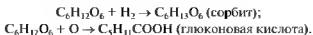
Моносахариды

В природе наиболее распространены моносахариды, в молекулах которых содержится **пять углеродных атомов (пентозы)** или **шесть (гексозы)**. **Моносахариды** — гетерофункциональные соединения, в состав их молекул входит одна карбонильная группа (альдегидная или кетонная) и несколько гидроксильных. Например:



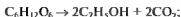
Таким образом, моносахариды — это полигидроксиальдегиды (**рибоза, глюкоза**) или полигидроксикетоны (**фруктоза**).

Химические свойства моносахаридов обусловлены наличием в молекуле функциональных групп двух видов. Например, глюкоза как многоатомный спирт образует простые и сложные эфиры, комплексное соединение с гидроксидом меди(II), как альдегид она окисляется аммиачным раствором оксида серебра в глюконовую кислоту и восстанавливается водородом в шестиатомный спирт — сорбит:

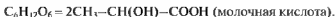


Практическое значение имеет **реакция брожения** — расщепление глюкозы под действием различных микроорганизмов:

а) спиртовое брожение:



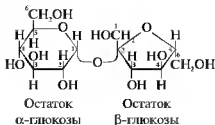
б) молочнокислое брожение:



Аналогично ведут себя в химических реакциях и другие моносахариды.

Дисахариды — это углеводы, молекулы которых состоят из двух остатков моносахаридов, соединенных друг с другом за счет взаимодействия гидроксильных групп.

Примером наиболее распространенных в природе дисахаридов является **сахароза** (свекловичный или тростниковый сахар). Молекула сахарозы состоит из остатков глюкозы и фруктозы, соединенных друг с другом за счет взаимодействия гидроксильных групп:



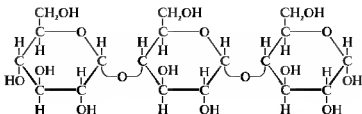
Для дисахаридов характерна реакция гидролиза, в результате которой образуются две молекулы моносахаридов:



Полисахариды — это природные высокомолекулярные углеводы, макромолекулы которых состоят из большого числа остатков моносахаридов.

Основные представители — **крахмал** и **целлюлоза** — построены из остатков одного моносахарида — глюкозы. Крахмал и целлюлоза имеют одинаковую молекулярную формулу $(C_6H_{10}O_5)_n$, но совершенно различные свойства. Это объясняется особенностями их пространственного строения. Крахмал состоит из остатков α -глюкозы, а целлюлоза — из β -глюкозы, которые, как уже было сказано, являются пространственными изомерами и отличаются лишь положением одной гидроксильной группы.

Крахмал — это белый порошок, состоящий из мелких зерен, не растворимый в холодной воде. При обработке крахмала теплой водой удастся выделить *две фракции*: фракцию, растворимую в теплой воде и состоящую из полисахарида амилозы, и фракцию, лишь набухающую в теплой воде с образованием клейстера и состоящую из полисахарида амилопектина. *Амилоза* имеет линейное строение:

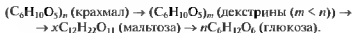


Молекула амилопектина построена подобным образом, однако имеет в цепи разветвления, что создает пространственную структуру. *Гликоген* (животный крахмал) имеет трехмерную пространственную решетку.

Крахмал легко подвергается гидролизу: при нагревании в присутствии серной кислоты образуется глюкоза:



В зависимости от условий проведения реакции гидролиз может осуществляться ступенчато с образованием промежуточных продуктов:



Обратная реакция — поликонденсация, представляет собой образование длинных молекул из простых с выделением молекулы простого вещества:



Качественной реакцией на крахмал является его взаимодействие с йодом — наблюдается интенсивное синее окрашивание. Такое окрашивание появляется, если на срез картофеля или ломтик белого хлеба поместить каплю раствора йода. Крахмал не вступает в реакцию «серебряного зеркала».

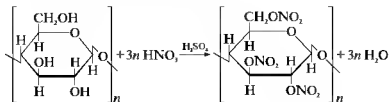
Крахмал является ценным пищевым продуктом. Для облегчения его усвоения продукты, содержащие крахмал, подвергают термообработке, т.е. картофель и крупы варят, хлеб пекут. Процессы декстринизации (образование декстринов), осуществляемые при этом, способствуют лучшему усвоению организмом крахмала и последующему гидролизу до глюкозы. В пищевой промышленности крахмал используется при производстве колбасных, кондитерских и кулинарных изделий. Применяется также для получения глюкозы, при изготовлении бумаги, текстильных изделий, клеев, лекарственных средств и т.д.

Целлюлоза — наиболее распространенный растительный полисахарид. Она обладает большой механической прочностью и исполняет роль опорного материала растений. Древесина содержит 50—70% целлюлозы, хлопок представляет собой почти чистую целлюлозу.

Целлюлоза состоит из нитевидных молекул, которые водородными связями гидроксильных групп внутри цепи, а также между соседними цепями собраны в пучки. Именно такая упаковка цепей обеспечивает высокую механическую прочность, волокнистость, нерастворимость в воде и химическую инертность, что делает целлюлозу идеальным материалом для построения клеточных стенок. Несмотря на нерастворимость целлюлозы в воде и обычных органических растворителях, она растворима в реактиве Швейцера (раствор гидроксида меди в аммиаке), а также в концентрированном растворе хлористого цинка и в концентрированной серной кислоте. Как и крахмал, целлюлоза при кислотном гидролизе дает глюкозу.

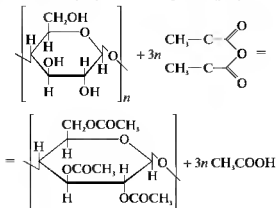
Целлюлоза — многоатомный спирт, на элементную ячейку полимера приходится три гидроксильных группы. В связи с этим, для целлюлозы характерны реакции этерификации (образование сложных эфиров). Наибольшее практическое значение имеют реакции с азотной кислотой и уксусным ангидридом.

1. Взаимодействие с азотной кислотой (в присутствии серной кислоты):



Полностью этерифицированная клетчатка известна под названием *пироксилина*, который после соответствующей обработки превращается в бездымный порошок. В зависимости от условий нитрования можно получить динитрат целлюлозы, который в технике называется коллоксилином. Он так же используется при изготовлении пороха и твердых ракетных топлив. Кроме того, на основе коллоксилина изготавливают целлулоид.

2. Взаимодействие с уксусным ангидридом (уксусной кислотой):



Триацетилцеллюлоза (или ацетилцеллюлоза) является ценным продуктом для изготовления ацетатного шелка. Для этого ацетилцеллюлозу растворяют в смеси дихлорметана и этанола и этот раствор продавливают через фильеры в поток теплого воздуха. Растворитель испаряется и струйки раствора превращаются в тончайшие нити ацетатного шелка.

Говоря о применении целлюлозы, нельзя не сказать о том, что большое количество целлюлозы расходуется также для изготовления различной бумаги. *Бумага* — это тонкий слой волокон клетчатки, проклеенный и спрессованный на специальной бумагоделательной машине.

7.4. Азотсодержащие органические соединения

Амины — органические производные аммиака NH_3 , в молекуле которого один, два или три атома водорода замещены на углеводородные радикалы:



Простейший представитель — метиламин:



Классификация. Амины классифицируют по двум структурным признакам:

- по количеству радикалов, связанных с атомом азота, различают первичные (один радикал), вторичные (два радикала), третичные (три радикала) (табл. 7.2);
- по характеру углеводородного радикала амины подразделяются на алифатические (жирные) — производные алканов, ароматические и смешанные (или жирноароматические).

Таблица 7.2

Амины	Первичные	Вторичные	Третичные
Алифатические (жирные)	CH_3NH_2 Метиламин	$(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ Диметиламин	$(\text{CH}_3)_3\text{N}$ Триметиламин
Ароматические	$\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ Фениламин (анилин)	$(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NH}$ Дифениламин	$(\text{C}_6\text{H}_5)_3\text{N}$ Трифениламин
Смешанные	—	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{NH}-\text{CH}_3$ Метилфениламин	$\text{C}_6\text{H}_5-\text{N}(\text{CH}_3)_2$ Диметилфениламин

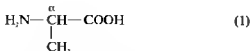
Номенклатура аминов. Названия большинства аминов образуются из названий углеводородного радикала (радикалов в порядке увеличения) и суффикса *-амин*. Первичные амины также часто называют как производные углеводородов, в молекулах которых один или несколько атомов водорода замещены на аминогруппы NH_2 . Аминогруппа при этом рассматривается как заместитель, а ее местоположение указывается цифрой в начале названия. Например:



Аминокислотами называются соединения, молекулы которых содержат одновременно амино- и карбоксильную группы. Простейшим представителем их является аминокислота (глицин):



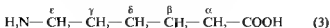
В составе молекулы аминокислоты могут содержаться несколько карбоксильных или аминогрупп, а также другие функциональные группы. В зависимости от положения аминогруппы по отношению к карбоксилу различают *альфа-* (α), *бета-* (β), *гамма-* (γ), *дельта-* (δ), *эпсилон-* аминокислоты (ϵ) и т.д.:



2-аминопропановая кислота
(α -аминопропиновая, аланин);



3-аминопропановая кислота
(β -аминопропиновая);



6-аминогексановая кислота
(ϵ -аминокапроновая).

Альфа-аминокислоты играют важнейшую роль в процессах жизнедеятельности живых организмов, так как являются теми соединениями, из которых строится молекула любого белка. Все α -аминокислоты, часто встречающиеся в живых организмах, имеют тривиальные названия, которые обычно и употребляются. (Представители некоторых альфа-аминокислот приведены в табл. 7.3.)

Таблица 7.3

Аминокислота	Формула	Условное обозначение
Глицин	$\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2\text{COOH}$	Гли
Аланин	$\text{CH}_3-\underset{\text{H}_2\text{N}}{\text{C}}-\text{COOH}$	Ала
Валин	$(\text{CH}_3)_2\text{CH}-\underset{\text{H}_2\text{N}}{\text{C}}-\text{COOH}$	Вал

Аминокислоты — твердые кристаллические вещества с высокой температурой плавления, при плавлении разлагаются. Хорошо растворимы в воде, водные растворы электропроводны. Важнейшим химическим свойством аминокислот является межмолекулярное взаимодействие α -аминокислот, которое приводит к образованию пептидов. При взаимодействии двух α -аминокислот образуется дипептид. Межмолекулярное взаимодействие трех α -аминокислот приводит к образованию трипептида и т.д. Фрагменты молекул аминокислот, обра-

зующие пептидную цепь, называются аминокислотными остатками, а связь CO-NH — пептидной связью.

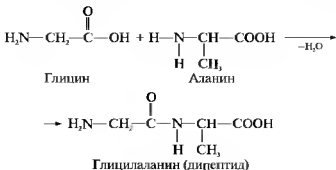
Аминокислоты находят применение во многих сферах. Их используют в качестве пищевых добавок. Так, лизин, триптофан и треонин обогащают растительные белки, а метионин включают в блюда из сои. При выработке пищевых продуктов аминокислоты находят применение в роли усилителей вкуса и добавок. Благодаря выраженному мясному вкусу широко используется *L*-энантиомер мононатриевой соли глутаминовой кислоты. Глицин добавляют как подсластитель, бактериостатическое вещество и антиоксидант. Являясь не только структурными элементами белков и других эндогенных соединений, аминокислоты имеют большое функциональное значение, некоторые из них выступают в качестве нейромедиаторных веществ, другие нашли самостоятельное применение в качестве лекарственных средств. Аминокислоты применяются в медицине в качестве парентерального (т.е., минуя желудочно-кишечный тракт) питания больных, с заболеваниями пищеварительных и других органов. Их также применяют для лечения заболеваний печени, малокровия, ожогов (метионин), язв желудка (гистидин), при нервно-психических заболеваниях (глутаминовая кислота и т.п.). Аминокислоты применяются в животноводстве и ветеринарии для питания и лечения животных, а также в микробиологической, и химической промышленности.

7.5. Полимеры

Полимеры — высокомолекулярные соединения, вещества с большой молекулярной массой (от нескольких тысяч до нескольких миллионов), в которых атомы, соединенные химическими связями, образуют линейные или разветвленные цепи, а также пространственные трехмерные структуры. К полимерам относятся многочисленные природные соединения: белки, нуклеиновые кислоты, целлюлоза, крахмал, каучук и другие органические вещества. Большое число полимеров получают синтетическим путем на основе простейших соединений элементов природного происхождения посредством реакций полимеризации, поликонденсации и химических превращений.

Белки (полипептиды) являются природными биополимерами, построенными из остатков α -аминокислот, соединенных **пептидными (амидными) связями**. Белки также относятся к азотсодержащим органическим соединениям. Формально образование белковой макромолекулы можно представить как реакцию поликонденсации

α -аминокислот: при взаимодействии двух молекул α -аминокислот происходит реакция между аминогруппой одной молекулы и карбоксильной группы — другой. Это приводит к образованию дипептида.



Из трех молекул α -аминокислот (глицин + аланин + глицин) образуется **трипептид**:

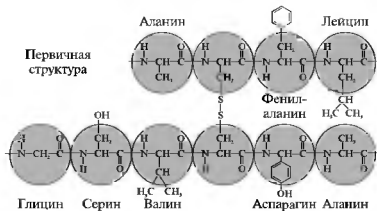


Аналогично происходит образование тетра-, пента- и полипептидов.

Молекулярные массы различных белков (полипептидов) составляют от 10 000 до нескольких миллионов. Макромолекулы белков имеют стеререгулярное строение, исключительно важное для проявления ими определенных биологических свойств. Несмотря на многочисленность белков, в их состав входят остатки лишь 20 α -аминокислот.

Выделяют **четыре уровня структурной организации белков**.

1. Первичная структура — определенная последовательность α -аминокислотных остатков в полипептидной цепи:

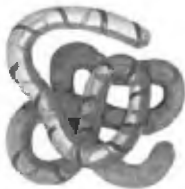


2. **Вторичная структура** — α -спираль. Между звеньями полипептидной цепочки образуются водородные связи при взаимодействии атома водорода аминогруппы остатка одной аминокислоты и атома кислорода карбоксильной группы остатка другой аминокислоты:



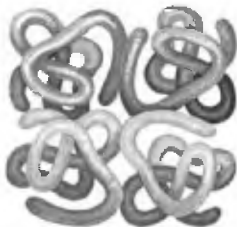
Вторичная структура (α -спираль)

3. **Третичная структура** характеризует ориентацию α -спирали в пространстве. Образуется за счет возникновения дисульфидных мостиков —S—S—, водородных связей, гидрофобных и ионных взаимодействий.



Третичная структура

4. **Четвертичная структура** представляет собой агрегаты нескольких белковых макромолекул, образованных за счет взаимодействия разных полипептидных цепей:



Четвертичная структура

Функции белков в природе универсальны:

- каталитические (ферменты);
- регуляторные (гормоны);
- структурные (кератин шерсти, фиброин шелка, коллаген);
- двигательные (актин, миозин);
- транспортные (гемоглобин);
- запасные (казеин, яичный альбумин);
- защитные (иммуноглобулины) и т.д.

Разнообразные функции белков определяются α -аминокислотным составом и строением их высокоорганизованных макромолекул.

Химические свойства белков

1. **Денатурация** — изменение физико-химических свойств и биологической функции белков под действием тепловой обработки или под действием сильных кислот и оснований. При денатурации происходит разрушение вторичной, третичной и четвертичной структур.

2. **Гидролиз** — конечным продуктом гидролиза белков являются аминокислоты.

3. **Качественные реакции белков:**

- биуретовая — при действии на растворы белков соли меди появляется сиреневое окрашивание. Эта реакция является качественной на пептидную связь;

- **ксантопротеиновая** — при действии концентрированной азотной кислоты на растворы белков, содержащих остатки ароматических аминокислот (фенилаланина, тирозина) появляется желтая окраска раствора.

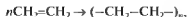
Синтетические полимерные материалы делятся на три группы: **пластические массы, каучуки и химические волокна.**

К наиболее важным синтетическим полимерам относят полиолефины (полиэтилен и полипропилен), полистирол, поливинилхлорид, фенолоформальдегидные полимеры, полиметилметакрилат, синтетические каучуки. В настоящее время на их основе получают основные полимерные материалы: пластмассы, эластомеры, волокна, лаки.

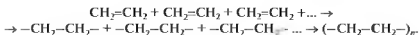
Способами получения полимерных материалов являются полимеризация и поликонденсация.

Полимеризация — реакция образования высокомолекулярных соединений путем последовательного присоединения молекул мономера к растущей цепи.

Схема полимеризации. Схематически реакцию полимеризации часто изображают как простое соединение молекул мономера в макромолекулу. Например, полимеризация этилена записывается следующим образом:

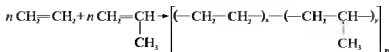


или



Сополимеризация — процесс образования высокомолекулярных соединений при совместной полимеризации двух или более различных мономеров.

Пример схемы сополимеризации (этилен с пропиленом):



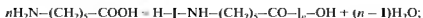
Этилен Пропилен Сополимер этилена и пропилена
($1 \leq x \leq n; 1 \leq y \leq n$)

Химическое строение сополимеров зависит от свойств мономеров и условий реакции. В сополимерах сочетаются свойства полимеров, полученных из каждого в отдельности взятого мономера, поэтому сополимеризация — эффективный способ синтеза полимеров с заданными свойствами.

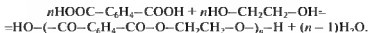
Поликонденсация — процесс образования высокомолекулярных соединений, протекающий по механизму замещения и сопровождающийся выделением побочных низкомолекулярных продуктов.

Примеры получения:

а) капрона из ϵ -аминокапроновой кислоты:



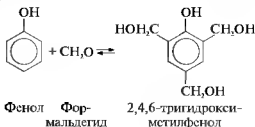
б) лавсана из терефталевой кислоты и этиленгликоля:



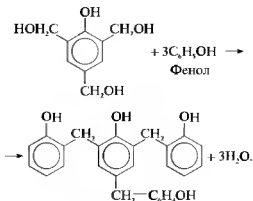
Термопластами (термопластичными полимерами) называют все линейные или слегка разветвленные полимеры. **Термопластичность** — это свойство пластмасс многократно размягчаться при нагревании и затвердевать при охлаждении. При этом физическом процессе, похожем на повторяющиеся плавление и кристаллизацию, химических изменений не происходит.

Реактопласты (термореактивные, или термоотверждающиеся, пластмассы). Если процесс полимеризации протекает более чем в двух направлениях, то возникают молекулы, образующие не линейные цепи, а трехмерную сетку, в этом случае образуются реактопласты. Эти полимеры можно размягчить нагреванием, но при охлаждении они превращаются в твердые неплавящиеся тела, которые невозможно снова размягчить без химического разложения. Необратимое затвердевание вызывается химической реакцией сшивки цепей.

Хорошо известный реактопласт — фенолоформальдегидную смолу — получают поликонденсацией фенола с формальдегидом. Гидроксильная группа повышает активность атомов водорода бензольного кольца в положениях 2, 4 и 6, что позволяет образовывать связи в нескольких направлениях:



2,4,6-Тригидрокси-метилфенол, реагируя с фенолом, отщепляет воду и образует трехмерную сетчатую структуру. Начальная стадия выглядит следующим образом:

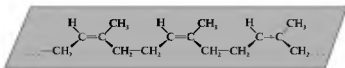


Из вышесказанного следует простой и логичный вывод: все линейные полимеры термопластичны, а все сшитые сетчатые полимеры *реактопластичны* (*терморреактивны*). Очевидно, что структура мономерных единиц и их функциональных групп позволяет предсказать тип пластмассы, получаемой при полимеризации.

Волокна делят на природные и химические. Природные волокна могут быть растительного или животного происхождения. Всем известны хлопковое, льняное, шерстяное и шелковое волокна, которыми люди пользовались с незапамятных времен. В свою очередь химические волокна подразделяют на искусственные и синтетические. *Искусственные* волокна получают из природных полимеров (обычно целлюлозы) посредством химической переработки, а *синтетические* — из термопластичных полимеров. Из синтетических волокон наибольший интерес представляют полиамидное волокно — полиамид-6 (капрон) и полиэфирное — полиэтилентерифталат (лавсан).

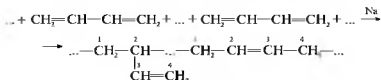
Каучуки. Дивинил и изопрен вступают в полимеризацию и сополимеризацию (т.е. совместную полимеризацию) с другими непредельными соединениями, образуя каучуки. Каучуки — это эластичные высокомолекулярные материалы (эластомеры), из которых методом вулканизации (нагреванием с серой) получают резину.

Натуральный каучук — природный высокомолекулярный непредельный углеводород состава $(\text{C}_5\text{H}_8)_n$, где n составляет 1000—3000 единиц.



В природных условиях натуральный каучук образуется не путем полимеризации изопрена, а другим (более сложным) способом.

Первый синтетический каучук, полученный по методу С.В. Лебедева посредством полимеризации дивинила под действием металлического натрия, представлял собой полимер нерегулярного строения со смешанным типом звеньев 1,2- и 1,4-присоединения:



Для практического использования каучуки превращают в резину.

Резина — это вулканизированный каучук с наполнителем (сажа). Суть процесса вулканизации заключается в том, что нагревание смеси каучука и серы приводит к образованию трехмерной сетчатой структуры из линейных макромолекул каучука, придавая ему повышенную прочность. Атомы серы присоединяются по двойным связям макромолекул и образуют между ними сшивающие дисульфидные мостики.

Контрольные вопросы и задания

1. Почему элемент углерод в органических соединениях образует четыре связи. в то время как на его внешнем энергетическом уровне имеется только два неспаренных электрона?
2. Дайте определение изомерии. Приведите примеры соединений с различным типом изомерии.
3. Какие органические соединения называются углеводородами? Дайте классификацию класса углеводородов.
4. Приведите химические реакции, позволяющие отличить классы углеводородов.
5. Какие органические вещества называются спиртами?
6. Какие органические соединения называются карбоновыми кислотами? Приведите уравнения химических реакций, характерных для уксусной кислоты.
7. Дайте классификацию углеводам. Какие химические реакции, характерные для моносахаридов, вы встречали в повседневной жизни?

8. Какой класс органических веществ называется аминокислотами? Какое значение имеют α -аминокислоты для существования жизни на Земле?
9. Назовите уровни организации структуры белковых молекул охарактеризуйте их.
10. Что такое искусственные полимерные материалы? Дайте их классификацию. Какие полимерные материалы вы встречали в повседневной жизни?

ГЛАВА 8. ХИМИЯ И ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

Организм человека состоит на 60% из воды, 34% приходится на органические вещества и 6% — на неорганические. Основными компонентами органических веществ являются углерод, водород, кислород, в их состав входят также азот, фосфор и сера. В неорганических веществах организма человека обязательно присутствуют 22 химических элемента: Ca, P, O, Na, Mg, S, B, Cl, K, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cr, Si, I, F, Se.

Экспериментально установлено, что в организме человека металлы составляют около 3% (по массе). Это очень много. Если принять массу человека за 70 кг, то на долю металлов приходится 2,1 кг. По отдельным металлам масса распределяется следующим образом: кальций (1700 г), калий (250 г), натрий (70 г), магний (42 г), железо (5 г), цинк (3 г). Остальное приходится на микроэлементы. Если концентрация элемента в организме превышает 10⁻²%, то его считают макроэлементом.

Микроэлементы находятся в организме в концентрациях 10⁻³...10⁻⁵%. Если концентрация элемента ниже 10⁻⁵%, то его считают ультрамикроэлементом. Неорганические вещества в живом организме находятся в различных формах. Большинство ионов металлов образуют соединения с биологическими объектами. Уже сегодня установлено, что многие ферменты (биологические катализаторы) содержат ионы металлов. Например, марганец входит в состав 12 различных ферментов, железо — в 70, медь — в 30, а цинк — более чем в 100. Естественно, что недостаток этих элементов должен сказаться на содержании соответствующих ферментов, а значит, и на нормальном функционировании организма (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Характерные симптомы дефицита химических элементов в организме человека

Дефицит элемента	Типичный симптом
Ca	Замедление роста скелета
Mg	Мышечные судороги
Fe	Анемия, нарушение иммунной системы
Zn	Повреждение кожи, замедление роста, замедление полового созревания
Cu	Слабость артерий, нарушение деятельности печени, вторичная анемия

Окончание

Дефицит элемента	Типичный симптом
Mn	Бесплодие, ухудшение роста скелета
Mo	Замедление клеточного роста, склонность к кариесу
Co	Злокачественная анемия
Ni	Учащение депрессий, дерматиты
Cr	Симптомы диабета
Si	Нарушение роста скелета
F	Кариес зубов
I	Нарушение работы щитовидной железы, замедление метаболизма
Se	Мускульная (в частности, сердечная) слабость

Таким образом, соли металлов совершенно необходимы для нормального функционирования живых организмов. Это подтвердили и опыты по бессолевой диете, которая применялась для кормления подопытных животных. Для этой цели многократным промыванием водой из пищи удаляли соли. Оказалось, что питание такой пищей приводило к гибели животных.

К жизненно необходимым органическим соединениям организма человека относятся белки, углеводы, жиры, витамины (см. главу 7).

Витамины (от лат. *vita* — жизнь) — группа низкомолекулярных органических соединений относительно простого строения и разнообразной химической природы. Это сборная по химической природе группа органических веществ, объединенная по признаку абсолютной необходимости их для гетеротрофного организма в качестве составной части пищи. Витамины не являются для организма поставщиком энергии, не включаются в структуру тканей и не используются организмом в качестве источника энергии (не обладают калорийностью). Однако витаминам отводится важнейшая роль в обмене веществ. Концентрация витаминов в тканях и суточная потребность в них невелики, но при недостаточном поступлении витаминов в организм наступают характерные и опасные патологические изменения.

Большинство витаминов не синтезируются в организме человека, поэтому они должны регулярно и в достаточном количестве поступать в организм с пищей или в виде витаминно-минеральных комплексов и пищевых добавок. Исключения составляют витамин К, достаточное количество которого в норме синтезируется в толстом кишечнике человека за счет деятельности бактерий, и витамин В₃, синтезируемый бактериями кишечника из аминокислоты триптофана.

С нарушением поступления витаминов в организм связаны три принципиальных патологических состояния: недостаток витамина — *гиповитаминоз*, отсутствие витамина — *авитаминоз*, и избыток витамина — *гипервитаминоз*.

Известно около полутора десятков витаминов. Исходя из растворимости, витамины делят на жирорастворимые — А, D, E, F, К и водорастворимые — все остальные (В, С и др.). Жирорастворимые витамины накапливаются в организме, в жировой ткани и печени. Водорастворимые витамины в существенных количествах не депонируются (не накапливаются) и при избытке выводятся с водой. Это объясняет то, что гиповитаминозы довольно часто встречаются при недостатке водорастворимых витаминов, а гипервитаминозы — чаще наблюдаются при переизбытке жирорастворимых витаминов.

Суточную потребность, верхний предел содержания в организме, последствия авитаминоза и источники некоторых витаминов указаны в табл. 8.2 (Ж — жирорастворимые витамины, В — водорастворимые витамины).

Таблица 8.2

Витамин	Название	Растворимость	Последствия авитаминоза, физиологическая роль	Верхний допустимый уровень	Суточная потребность	Основной источник
А1 А2	Ретинол дегидро- ретинол	Ж	Куриная слепота <i>Роль</i> — необходим для обеспечения процессов роста и развития человека, формирования скелета	3 000 мкг	900 мкг	Печень скота, трески, икра осетровых рыб, сливочное масло, сыры
В1	Тиамин	В	Бери-бери <i>Роль</i> — Необходим для функционирования нервной системы, нормализующе влияет на работу сердца, участвует в обмене углеводов, способствуя высвобождению энергии. Воздействует на функцию органов пищеварения	Нет данных	1,5 мг	Цельные зерна, семечки подсолнуха, зерновые, не освобожденные от зародышей, арахис, бобы, сухие дрожжи, картофель, свинина, почки, печень

Окончание

Витамин	Название	Растворимость	Последствия авитаминоза, физиологическая роль	Верхний допустимый уровень	Суточная потребность	Основной источник
D1	Ламистерол	Ж	Рахит, остеомалация <i>Роль</i> — регулируют обмен кальция и фосфора, обеспечивают всасывание этих элементов в тонком кишечнике, а также реабсорбцию фосфора в почечных канальцах и перенос кальция из крови в костную ткань, т.е. участвуют в ее формировании	50 мкг	10—15 мкг	В продуктах животного происхождения — печени, молочных жирах, жире из печени трески, икре рыб, масле печени рыб; рыба, яичные желтки, молочные продукты
D2	Эргокальциферол					
D3	Холекальциферол					
D4	Дигидротрахистерол					
D5	7-дегидротрахистерол					
E	α -, β -, γ -токоферолы	Ж	Нервно-мышечные нарушения. Анемия. Характерным следствием E-авитаминоза является нарушение функции размножения <i>Роль</i> — необходим для поддержания нормальных процессов обмена веществ в скелетных мышцах, мышце сердца, а также в печени и нервной системы	300 мг	15 мг	Растительные масла (подсолнечное, соевое, хлопковое, кукурузное), а также зеленые овощи, яичные желтки. Масло из ростков пшеницы, цельные зерна, орехи, мясо, яйца, авокадо

Контрольные вопросы и задания

1. Какие элементы называются микроэлементами? Приведите примеры.
2. Какие элементы называются макроэлементами? Приведите примеры.
3. Назовите последствия нарушения содержания железа в организме человека.
4. Какую роль витамины играют в организме человека?

5. Дайте классификацию витаминам.
6. Назовите последствия недостатка витамина А в организме. Какие продукты питания содержат данный витамин?
7. Назовите последствия недостатка витамина В1 в организме. Какие продукты питания содержат данный витамин?
8. Назовите последствия недостатка группы витаминов D в организме. Какие продукты питания содержат данный витамин?
9. Назовите последствия недостатка витамина Е в организме. Какие продукты питания содержат данный витамин?
10. Какие витамины называются токоферолами? Поясните их роль в организме человека.

ГЛАВА 9. ВОДА. РАСТВОРЫ

9.1. Свойства воды. Растворы

Вода — наиболее распространенное на Земле вещество, она покрывает приблизительно четыре пятых земной поверхности. Это единственное химическое соединение, которое в природных условиях существует в виде жидкости, твердого вещества (лед) и газа (пары воды). Вода играет жизненно важную роль в промышленности, быту и в лабораторной практике; она совершенно необходима для поддержания жизни. Приблизительно две трети человеческого тела приходится на долю воды, и многие пищевые продукты состоят преимущественно из воды.

Структура и физические свойства воды. В 1860-х годах итальянский химик Станислав Канниццаро, исследуя органические соединения, содержащие группы —ОН, названные им *гидроксильными*, окончательно установил, что вода имеет формулу H_2O .

Вода — ковалентное молекулярное соединение. Связь О—Н ковалентная полярная; угол — $104,5^\circ$. Кислород как более электроотрицательный атом (электроотрицательность — это способность притягивать к себе общую электронную плотность при образовании связи) оттягивает на себя общую с атомом водорода электронную плотность к себе и потому несет частичный отрицательный заряд; атомы водорода, от которых электронная плотность смещена, несут частичный положительный заряд. Таким образом, молекула воды представляет собой диполь, т.е. имеет положительно и отрицательно заряженные участки. Вода представляет собой прозрачную бесцветную жидкость, обладающую целым рядом аномальных физических свойств. Например, она имеет аномально высокие температуры замерзания и кипения, а также поверхностное натяжение. Редкой особенностью воды является то, что ее плотность в жидком состоянии при $4^\circ C$ больше плотности льда. Поэтому лед плавает на поверхности воды. Эти аномальные свойства воды объясняются существованием в ней водородных связей, которые связывают между собой молекулы как в жидком, так и в твердом состоянии. Вода плохо проводит электрический ток, но становится хорошим проводником, если в ней растворены даже небольшие количества ионных веществ.

Химические свойства воды

1. **Кислотно-основные реакции.** Вода обладает *амфотерными* свойствами. Это означает, что она может выступать как в роли кислоты, так

и в роли основания. Ее амфотерные свойства обусловлены способностью воды к самоионизации:



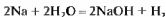
Это позволяет воде быть, с одной стороны, акцептором протона:



а с другой стороны — донором протона:



2. Окислительно-восстановительные реакции. Вода обладает способностью выступать как в роли *окислителя*, так и в роли *восстановителя*. Она окисляет металлы, расположенные в электрохимическом ряду напряжений выше олова. Например, в реакции между натрием и водой



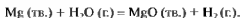
происходит следующий окислительный процесс:



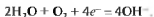
В этой реакции вода играет роль восстановителя:



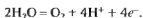
Другим примером подобной реакции является взаимодействие между магнием и водяным паром:



Вода действует как окислитель в процессах коррозии. Например, один из процессов, протекающих при ржавлении железа, заключается в следующем:



Вода является важным восстановителем в биохимических процессах. Например, некоторые стадии цикла лимонной кислоты включают восстановление воды:

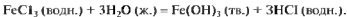


Этот процесс электронного переноса имеет также большое значение в восстановлении органических фосфатных соединений при фотосинтезе. Цикл лимонной кислоты и фотосинтез представляют собой сложные процессы, включающие ряд последовательно протекающих

химических реакций. В обоих случаях процессы электронного переноса, происходящие в них, еще не полностью выяснены.

3. Гидратация. Молекулы воды способны сольватировать как катионы, так и анионы. Этот процесс называется *гидратацией*. Гидратная вода в кристаллах солей называется кристаллизационной водой. Молекулы воды обычно связаны с сольватируемым ими катионом координационными связями. Обозначают содержание гидратной воды в формуле вещества: $\text{CuSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

4. Гидролиз. Гидролиз представляет собой реакцию какого-либо иона или молекулы с водой. Примером реакций этого типа может быть реакция между хлороводородом и водой с образованием соляной кислоты. Другой пример – гидролиз хлорида железа(III):



5. Взаимодействие с оксидами активных металлов: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{OH})_2$.

6. Взаимодействие с оксидами неметаллов: $\text{P}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HPO}_3$.

Вода широко используется в качестве растворителя в химической технологии, а также в лабораторной практике. Она представляет собой универсальный растворитель, необходимый для протекания биохимических реакций. Дело в том, что вода прекрасно растворяет ионные соединения, а также многие ковалентные соединения. Способность воды хорошо растворять многие вещества обусловлена полярностью ее молекул, которые при растворении в воде ионных веществ ориентируются вокруг ионов, т.е. сольватируют их. Водные растворы ионных веществ являются электролитами. Растворимость ковалентных соединений в воде зависит от их способности образовывать водородные связи с молекулами воды. Простые ковалентные соединения, как, например, диоксид серы, аммиак и хлороводород, растворяются в воде. Кислород, азот и диоксид углерода плохо растворяются в воде. Многие органические соединения, содержащие атомы электроотрицательных элементов, как, например, кислорода или азота, растворимы в воде. В качестве примера укажем этанол $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, уксусную кислоту CH_3COOH , сахар $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$. Присутствие в воде нелетучих растворенных веществ, например хлорида натрия или сахара, понижает давление пара и температуру замерзания воды, но повышает ее температуру кипения. Присутствие в воде растворимых солей кальция и магния (жесткость воды) затрудняет ее использование в технологических процессах.

Жесткость воды подразделяется на **временную (карбонатную, обусловленную присутствием гидрокарбонатов кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$**

и магния Mg (HCO_3) 2) и **постоянную (некарбонатную) жесткость**. По ГОСТ Р 52029—2003 жесткость выражается в градусах жесткости (°Ж), что соответствует концентрации щелочноземельного элемента, численно равной $1/2$ его моля, выраженной в mg/dm^3 (g/m^3). По величине общей жесткости различают воду **мягкую** (до 2 мг-экв/л), **средней жесткости** (2—10 мг-экв/л) и **жесткую** (более 10 мг-экв/л).

Жесткость воды поверхностных источников существенно колеблется в течение года; она максимальна в конце зимы, минимальна — в период паводка (например, жесткость волжской воды в марте — 4,3 мг-экв/л, в мае — 0,5 мг-экв/л). В подземных водах жесткость обычно выше (до 80—100 мг-экв/л) и меньше изменяется в течение года.

Растворимость газов в воде зависит от температуры и парциального давления газа над водой: чем ниже температура и выше парциальное давление газа над водой, тем выше концентрация газа в жидкости.

Растворимость большинства твердых веществ повышается при увеличении температуры. При растворении твердого вещества протекают два процесса:

- 1) процесс разрушения кристаллической решетки. Этот процесс требует затраты энергии, поэтому является **эндотермическим**;
- 2) процесс образования гидратов (сольватов) протекает с выделением энергии.

Общая теплота растворения складывается из теплот этих двух процессов, поэтому растворение может проходить как с повышением, так и с понижением температуры.

Раствором называется гомогенная (однородная) система, состоящая из двух или более компонентов. Необходимыми компонентами раствора являются **растворитель** и **растворенное вещество**, например, растворенный в воде сахар. В одном растворителе может находиться несколько растворенных веществ. Например, при приготовлении маринада в воде **растворены сахар, соль и уксусная кислота. Растворенными веществами** при одинаковом агрегатном состоянии компонентов обычно считаются компоненты, находящиеся в недостатке, в то время как компонент, находящийся в избытке, считается **растворителем**. При разных агрегатных состояниях компонентов раствора растворителем обычно считается компонент, агрегатное состояние которого совпадает с агрегатным состоянием раствора. Например, в случае жидких растворов твердых и газообразных веществ растворителем всегда считается жидкий компонент, независимо от концентрации растворенных веществ. Если при приготовлении раствора используют две жидкости, растворителем является та, которая находится в избытке. Если при приготовлении раствора используют воду, то растворителем является вода.

Способы выражения состава раствора

Количество растворенного вещества в определенном количестве раствора или растворителя, которое может колебаться в очень широких пределах, называется **концентрацией раствора**. Концентрация растворов выражается отношением массы, числа молей или числа эквивалентов растворенного вещества, приходящегося на массу, общее количество молей или объем всего раствора или только растворителя.

Существует несколько способов выражения концентрации растворов:

Массовая доля (процентная концентрация) — отношение массы растворенного вещества к общей массе раствора:

$$\omega\% = \frac{m_{\text{раств. в-ва}}}{m_{\text{раствора}}} \cdot 100\%,$$

где $m_{\text{раств. в-ва}}$ — масса растворенного вещества; $m_{\text{раствора}}$ — масса раствора ($m_{\text{раствора}} = m_{\text{раств. в-ва}} + m_{\text{раств.-вещ}} + m_{\text{раств.-лв}}$ — масса растворителя).

Массовая доля показывает, какая масса растворенного вещества находится в 100 г раствора. Например, 20%-ный раствор Na_2SO_4 содержит 20 г Na_2SO_4 и 80 г H_2O .

Молярная концентрация (молярность) — показывает число молей растворенного вещества $n_{\text{раств. в-ва}}$, содержащихся в объеме раствора:

$$C = \frac{n_{\text{раств. в-ва}}}{V_p} \quad [\text{моль/м}^3, \text{ моль/л, М}],$$

где V_p — объем раствора, м^3 или л.

Молярность показывает, сколько молей растворенного вещества содержится в 1 литре раствора. Пример: 1 М раствор H_2SO_4 содержит в каждом литре 1 моль H_2SO_4 или 98 г.

9.2. Водные ресурсы Земли

Водные ресурсы — это все воды гидросферы: т.е. воды рек, озер, каналов, водохранилищ, морей и океанов, подземные воды, почвенная влага, вода (льды) горных и полярных ледников, водяные пары атмосферы.

Общий объем (единовременный запас) водных ресурсов составляет 1390 млн км^3 , из них около 1340 млн км^3 — воды Мирового океана. Менее 3% составляют пресные воды, из них технически доступны для использования — всего 0,3%.

Пресная вода оказывается доступной человеку в результате участия в гидрологическом цикле, или круговороте воды в природе. Ежегодно в круговорот воды в результате ее испарения и выпадения осадков в виде дождя или снега вовлекается приблизительно $500\,000\text{ км}^3$ воды. По теоретическим подсчетам максимальное количество пресной воды, доступное для использования, составляет приблизительно $40\,000\text{ км}^3$ в год. Речь идет о той воде, которая стекает с поверхности земли в моря и океаны (так называемый сток).

Использование пресной воды принято подразделять на многократное использование и безвозвратное расходование. В соответствии с этим пресную воду также иногда подразделяют на используемую многократно и расходующую безвозвратно. Многократное использование воды может быть проиллюстрировано на таких примерах, как навигация, рыбоводство и получение гидроэлектроэнергии. Безвозвратно расходующая пресная вода становится уже недоступной для повторного использования. К ней относится пресная вода, которая после употребления оказалась потерянной в результате испарения (в том числе листьями растений); вода, вошедшая в состав продуктов, а также вода стока, достигшая моря (океана) и смешавшаяся с соленой водой. Безвозвратный расход пресной воды во всем мире составляет от 2500 до 3000 км^3 в год, причем из этого количества приблизительно 10% расходуется в бытовых целях, 8% в промышленности, а подавляющее большинство — 82% — идет на ирригацию в сельском хозяйстве.

Поскольку вода — хороший растворитель, она редко встречается в абсолютно чистом виде. Пригодность воды для питья и наполнения плавательных бассейнов зависит от ее качества. Ниже приведены некоторые характеристики, которыми определяется качество воды.

Характеристики воды:

- прозрачность;
- наличие растворенных неорганических веществ, например нитратов, хлоридов, железа;
- температура;
- наличие растворенных органических веществ, например фенолов;
- вкус;
- наличие микроорганизмов, например бактерий;
- запах;
- наличие флоры и фауны;
- pH;
- электропроводность;
- жесткость.

Загрязнение воды — это понижение ее качества в результате попадания в реки, ручьи, озера, моря и океаны различных физических, химических или биологических веществ. Степень загрязнения можно определить по наличию в воде микроорганизмов, которое определяется в результате измерения ее биохимической потребности в кислороде (БПК). С этой целью определяют содержание кислорода в воде до и после выдерживания ее в темноте в течение пяти суток при температуре 20 °С. БПК измеряется в мг/дм³. Считается, что в зависимости от степени загрязненности воды БПК имеют следующие значения:

Степень загрязнения воды	БПК, мг/дм ³
Практически чистая	30
Слабое загрязнение	30—80
Сильное загрязнение	>80

Загрязнение воды имеет много причин.

Источники загрязнения воды.

1. **Населенные пункты.** Наиболее известным источником загрязнения воды, которому традиционно уделяется главное внимание, являются бытовые (или коммунальные) сточные воды.

2. **Промышленность.** В индустриально развитых странах главным потребителем воды и самым крупным источником стоков является промышленность. Промышленные стоки в реки по объему в 3 раза превышают коммунально-бытовые. Более половины стоков, поступающих в водоемы, дают четыре основные отрасли промышленности: целлюлозно-бумажная, нефтеперерабатывающая, промышленность органического синтеза и черная металлургия (доменное и сталелитейное производства). Из-за растущего объема промышленных отходов нарушается экологическое равновесие многих озер и рек, хотя большая часть стоков нетоксична и несмертельна для человека.

3. **Тепловое загрязнение.** Наиболее масштабное однократное употребление воды — производство электроэнергии, где она используется главным образом для охлаждения и конденсации пара, вырабатываемого турбинами тепловых электростанций. При этом вода нагревается в среднем на 7 °С, после чего сбрасывается непосредственно в реки и озера, являясь основным источником дополнительного тепла, который называют «тепловым загрязнением». Против употребления этого термина имеются возражения, поскольку повышение температуры воды иногда приводит к благоприятным экологическим последствиям.

4. Сельское хозяйство. Вторым основным потребителем воды является сельское хозяйство, использующее ее для орошения полей. Стекающая с них вода насыщена растворами солей и почвенными частицами, а также остатками химических веществ, способствующих повышению урожайности. К ним относятся инсектициды; фунгициды, которые распыляют над фруктовыми садами и посевами; гербициды, знаменитое средство борьбы с сорняками; и прочие пестициды, а также органические и неорганические удобрения, содержащие азот, фосфор, калий и иные химические элементы. Кроме химических соединений, в реки попадает большой объем фекалий и других органических остатков с ферм, где выращиваются мясо-молочный крупный рогатый скот, свиньи или домашняя птица. Много органических отходов также поступает в процессе переработки продукции сельского хозяйства (при разделке мясных туш, обработке кож, производстве пищевых продуктов и консервов и т.д.).

Очистка и подготовка воды

Для использования воды из рек, ручьев, озер и других источников в питьевых и промышленных целях ее сначала необходимо подвергнуть очистке и привести в соответствие с требованиями существующих стандартов на питьевую воду. Эта подготовка воды осуществляется с помощью целого ряда физических и химических процессов.

Физические процессы водоочистки и водоподготовки

Решение. Первая стадия водоочистки заключается в удалении из воды больших плавающих предметов и взвешенного мусора. На последующих стадиях обработки воды используются более тонкие решета, позволяющие удалить из нее мелкий взвешенный материал.

Аэрирование — насыщение газами. Аэрирование воды может осуществляться разными способами, например в водопадных каскадах. Этот процесс приводит к удалению из воды диоксида углерода, сероводорода и летучих масел, которые могут придавать воде какой-либо вкус или запах. При аэрировании также происходит окисление растворимых в воде ионов железа и марганца.

Флокуляция. Этот процесс включает осторожное взбалтывание воды, приводящее к конгломерации мелких частиц с образованием более крупных, быстро оседающих на дно.

Седиментация. В этом процессе происходит удаление взвешенных в воде частиц в результате их оседания на дно.

Фильтрация. В этом процессе происходит удаление из воды мелкого взвешенного материала в результате ее пропускания через слой

песка (чистого или смешанного с молотым древесным углем), который находится на подложке из гравия.

Химическая подготовка воды производится по-разному, в зависимости от качества воды, забираемой из реки или другого резервуара. Ниже указаны наиболее употребительные **формы химической подготовки воды**.

Коагуляция. Для коагуляции взвешенных в воде мелких и коллоидных частиц в нее добавляют специальные коагулянты, под действием которых в воде образуются легкие взвеси. Для удаления щелочных веществ, содержащихся в воде, обычно используются такие коагулянты, как алюминат натрия и сульфат алюминия.

Дезинфекция. Для разрушения микроорганизмов, содержащихся в воде, ее дезинфицируют, как правило, хлором. Хлорирование обычно является последней стадией водоподготовки.

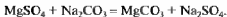
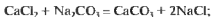
Умягчение воды. Жесткость воды поверхностных источников существенно колеблется в течение года; она максимальна в конце зимы, минимальна — в период паводка (например, жесткость волжской воды в марте — 4,3 мг-экв/л, в мае — 0,5 мг-экв/л). В подземных водах жесткость обычно выше (до 80—100 мг-экв/л) и меньше изменяется в течение года.

В процессе **умягчения воды** устраняется ее жесткость. С этой целью на водопроводных станциях в воду обычно добавляют гидроксид кальция либо карбонат натрия.

Добавление гашеной извести:



Добавление соды:



В целях одновременного устранения обоих видов жесткости применяют смесь гашеной извести и соды — **содово-известковый метод**.

Для умягчения воды могут использоваться также ионообменные смолы, действие которых основано на процессе адсорбции.

Временную жесткость воды, вызванную содержанием в воде растворимых гидрокарбонатов кальция и магния, можно устранить кипячением. При этом происходят реакции:



Контрольные вопросы и задания

1. Перечислите физические свойства воды.
2. Нарисуйте строение молекулы воды, объясните появление ковалентного угла.
3. Приведите реакции, характеризующие химические свойства воды.
4. От чего зависит растворимость твердых и газообразных веществ?
5. Приведите формулу для расчета массовой доли раствора.
6. Перечислите причины загрязнения воды и основные загрязнители.
7. Какие методы очистки воды вы знаете?
8. Присутствие каких солей в воде определяет жесткость воды?
9. Чем отличается временная и постоянная жесткость?
10. Напишите уравнения химических реакций, отвечающих процессам умягчения воды.

ГЛАВА 10. ХИМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В АТМОСФЕРЕ

10.1. Воздух. Атмосфера и климат

Атмосфера — смесь различных газов, окружающих Землю. Физическое состояние атмосферы определяется погодой и климатом. Основные параметры атмосферы: плотность воздуха, давление, температура и состав. С увеличением высоты плотность воздуха и атмосферное давление уменьшаются. Температура меняется также в зависимости от изменения высоты. Вертикальное строение атмосферы характеризуется различными температурными и электрическими свойствами, разным состоянием воздуха.

Состав. Главнейшие газы входят в состав чистого атмосферного воздуха в следующих соотношениях (% по объему): азот — 78,03; кислород — 20,95; озон и другие инертные газы (аргон, гелий, неон, криптон, ксенон, радон) — 0,94; углекислый газ — 0,03; водяной пар — 0,05. Содержание углекислого газа в атмосферном воздухе принимается равным (% по объему): в сельской местности — 0,03, в городах — 0,04—0,07. Содержание водяных паров в воздухе зависит от его температуры. Озон присутствует в лесном, горном и морском воздухе. Наружный воздух загрязняется отходящими от промышленных предприятий вредными для здоровья человека газами и пылью.

Плотностью воздуха называется отношение массы воздуха к его объему и выражается в $\text{кг}/\text{м}^3$. Плотность влажного воздуха представляет собой сумму плотности сухой части воздуха и водяных паров. Следует помнить, что влажный воздух при равных температуре и давлении всегда легче сухого.

Степень влажности воздуха определяется абсолютной и относительной влажностью. *Абсолютная влажность* характеризуется отношением массы водяного пара в граммах к единице объема воздуха. *Относительная влажность* — это отношение фактической массы водяного пара, содержащегося в воздухе, к максимально возможной (насыщающей) массе в данном объеме воздуха при данной температуре; относительную влажность воздуха выражают в процентах. Под полным насыщением воздуха понимают такое состояние, при котором воздух при данной температуре не может больше воспринимать водяные пары. Чем выше температура воздуха, тем большее количество водяных паров требуется для его полного насыщения. При относительной влажности,

равной 100%, воздух полностью насыщен водяными парами; при относительной влажности, равной нулю, воздух не содержит водяных паров и является абсолютно сухим.

Температура воздуха показывает степень его нагрева. Температуру выражают в градусах различных температурных шкал. В Международной практической температурной шкале различают температуру Кельвина (T) и температуру Цельсия (t), которые связаны соотношением $t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15 \text{ K}$.

Давление — сила, действующая на единицу поверхности в направлении, перпендикулярном этой поверхности. Давление воздуха (барометрическое) — это сумма парциальных давлений сухого воздуха и водяных паров. В СИ за единицу давления принят паскаль (Па).

Функции атмосферы:

- содержит кислород, необходимый для дыхания живых организмов;
- является источником углекислого газа для фотосинтеза растений;
- защищает живые организмы от космических излучений;
- сохраняет тепло Земли и регулирует климат;
- трансформирует газообразные продукты обмена веществ;
- переносит водяные пары по планете;
- является средой обитания летающих форм организмов;
- служит источником химического сырья и энергии;
- принимает и трансформирует газообразные и пылевидные отходы.

Атмосфера состоит из четырех основных слоев: тропосферы, стратосферы, мезосферы и термосферы. Переходные области атмосферы между соседними оболочками называют соответственно тропопауза, стратопвуза и т.п.

Первый слой — **тропосфера** — является самым тонким, заканчиваясь на высоте около 12 км над землей. Но даже этот потолок непреодолим для самолетов, которые летают, как правило, на высоте 9—11 км. Это самый теплый слой, поскольку солнечные лучи отражаются от земной поверхности и нагревают воздух. По мере удаления от земной поверхности температура воздуха падает до -55°C в верхней части тропосферы.

Далее идет **стратосфера**, которая простирается до высоты около 50 км над поверхностью. В верхней части стратосферы находится озоновый слой, который задерживает значительную часть губительного ультрафиолетового излучения.

Над стратосферой (50—70 км) находится **мезосфера**. В пределах мезосферы, при температуре около $-225\text{ }^{\circ}\text{C}$, имеется мезопауза — самая холодная область атмосферы. Здесь так холодно, что образуются облака из льда, которые можно наблюдать поздно вечером, когда заходящее солнце подсвечивает их снизу.

Последний основной слой атмосферы, отделяющий Землю от космоса, называется **термосферой**. Он находится на высоте примерно 100 км от земной поверхности и состоит из *ионосферы* и *магнитосферы*.

В ионосфере солнечная радиация вызывает *ионизацию*. Именно здесь частицы получают электрический заряд. Когда они проносятся через атмосферу, можно наблюдать находящееся на большой высоте полярное сияние. Кроме того, ионосфера отражает радиоволны, обеспечивая возможность дальней радиосвязи.

Выше расположена *магнитосфера*, которая представляет собой наружный край магнитного поля Земли. Она действует как гигантский магнит и защищает Землю, улавливая частицы большой энергии.

Термосфера имеет наименьшую плотность среди всех слоев, атмосфера постепенно исчезает и сливается с космическим пространством.

Системы формирования погоды всего мира находятся в тропосфере. Они возникают в результате совместного воздействия на атмосферу солнечной радиации и вращения Земли. Движение воздуха, известное как ветер, происходит, когда теплые воздушные массы поднимаются вверх, вытесняемые холодными. Воздух больше всего прогревается на экваторе, где солнце находится в зените, и становится холоднее по мере приближения к полюсам.

Часть атмосферы, наполненная жизнью, называется **биосферой**. Она простирается от высоты птичьего полета до поверхности и в глубь земли и океана. В границах биосферы происходит тонкий процесс обеспечения баланса между растительной и животной жизнью.

Животные потребляют кислород и выдыхают углекислый газ, который «впитывают» зеленые растения в результате фотосинтеза, используя энергию солнечного света для выделения кислорода в воздух. Так обеспечивается замкнутый цикл, от которого зависит выживание всех животных и растений. Атмосфера позволяла сохранять это естественное равновесие в течение сотен тысяч лет, однако теперь этому источнику жизни и защиты серьезно угрожают последствия деятельности человека: парниковый эффект, глобальное потепление климата, загрязнение воздуха, разрушение озонового слоя и кислотные дожди.

10.2. Загрязнение атмосферы и его источники

Загрязнение атмосферы может быть **естественным** (природным) и **антропогенным** (техногенным).

- Естественное загрязнение воздуха вызвано природными процессами. К ним относятся вулканическая деятельность, выветривание горных пород, ветровая эрозия, массовое цветение растений, дым от лесных и степных пожаров и др.
- Антропогенное загрязнение связано с выбросом различных загрязняющих веществ в процессе деятельности человека. По своим масштабам оно значительно превосходит природное загрязнение атмосферного воздуха.

В зависимости от масштабов распространения выделяют различные типы загрязнения атмосферы: местное, региональное и глобальное. *Местное* загрязнение характеризуется повышенным содержанием загрязняющих веществ на небольших территориях (город, промышленный район, сельскохозяйственная зона и др.). При *региональном* загрязнении в сферу негативного воздействия вовлекаются значительные пространства, но не вся планета. *Глобальное* загрязнение связано с изменением состояния атмосферы в целом.

По агрегатному состоянию выбросы вредных веществ в атмосферу классифицируются:

- на газообразные (диоксид серы, оксиды азота, оксид углерода, углеводороды и др.);
- жидкие (кислоты, щелочи, растворы солей и др.);
- твердые (канцерогенные вещества, свинец и его соединения, органическая и неорганическая пыль, сажа, смолистые вещества и прочие).

Основные загрязнители атмосферы и их воздействие на живые организмы:

- 1) CO — воздействует на нервную и сердечнососудистую системы;
- 2) Оксиды азота, в основном NO₂ — взаимодействуя с углеводородами выхлопных газов, образуют фотохимический смог. В чистом виде приводят к отеку легких;
- 3) SO₂ — накапливается в листьях и хвое, чем наносит урон лесам, раздражает слизистые оболочки;
- 4) углеводороды (пары бензина, пентан, гексан) — обладают наркотическим действием, вызывают головные боли, головокружение;
- 5) альдегиды — раздражают слизистые оболочки;

- 6) соединения свинца — нарушают синтез гемоглобина, провоцируют заболевания дыхательных путей, нервной системы;
- 7) атмосферная пыль: сажа, содержащаяся в пыли, обладает большой адсорбционной способностью к тяжелым углеводородам, что делает ее опасной для здоровья человека

В результате техногенного загрязнения за последние 200 лет нарушился газовый баланс атмосферы. Сжигание ископаемых видов топлива (угля, нефти, природного газа) привело к колоссальным выбросам оксида углерода (IV) и других газов, особенно после появления автомобилей в конце XIX в. Прогресс в области агротехники также повлек за собой увеличение количества метана и оксидов азота, поступающих в атмосферу. Эти газы, уже присутствующие в атмосфере, задерживают тепло солнечных лучей, отражающихся от поверхности. Если бы их не было, на Земле царил бы такой холод, что океаны бы замерзли, а все живые организмы погибли бы, поэтому они названы «парниковыми газами». Однако, когда содержание «парниковых газов» увеличивается из-за загрязнения воздуха, слишком большое количество тепла удерживается в атмосфере, что приводит к потеплению климата во всем мире. В результате, только за последнее столетие средняя температура на планете увеличилась на полградуса Цельсия. Сегодня ученые прогнозируют дальнейшее потепление примерно на 1,5—4,5 °C к середине нынешнего века. Это явление называется **парниковым эффектом**.

По оценкам, более миллиарда людей (около одной пятой населения Земли) дышат сегодня воздухом, сильно зараженным вредными газами. В основном речь идет об угарном газе и сернистом ангидриде. Это стало причиной резкого увеличения количества заболеваний органов грудной клетки, в том числе легких, особенно среди детей и пожилых людей.

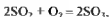
Тревогу вызывает и возросшее количество людей, страдающих от рака кожи. Это результат воздействия ультрафиолетовых лучей, проникающих через разрушенный озоновый слой.

Озоновая дыра — локальное падение концентрации озона в озоновом слое Земли. По общепринятой в научной среде теории, во второй половине XX в. все возрастающее воздействие антропогенного фактора в виде выделения хлор- и бромсодержащих фреонов привело к значительному утончению озонового слоя. К уменьшению концентрации озона в атмосфере ведет совокупность факторов, главными из которых является гибель молекул озона в реакциях с различными веществами антропогенного и природного происхождения, отсутствие солнечного излучения в течение полярной зимы, особо устойчивый полярный

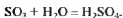
вихрь, который препятствует проникновению озона из приполярных широт, и образование полярных стратосферных облаков (ПСО), поверхность частиц которых катализирует реакции распада озона. Эти факторы особенно характерны для Антарктики, в Арктике полярный вихрь намного слабее в виду отсутствия континентальной поверхности, температура выше на несколько градусов, чем в Антарктике, а ПСО менее распространены, к тому же имеют тенденцию к распаду в начале осени. Будучи химически активными, молекулы озона могут реагировать со многими неорганическими и органическими соединениями. Главными веществами, вносящими вклад в разрушение молекул озона, являются простые вещества (водород, атомы кислорода, хлора, брома), неорганические (хлороводород, монооксид азота) и органические соединения (метан, фторхлор- и фторбромфреоны, которые выделяют атомы хлора и брома), в отличие, например, от гидрофторфреонов, распадающихся до атомов фтора, которые, в свою очередь, быстро реагируют с водой, образуя стабильный фтороводород. Таким образом, фтор не участвует в реакциях распада озона. Йод также не разрушает стратосферный озон, так как йодсодержащие органические вещества почти полностью расходуются еще в тропосфере.

Кислотные дожди. Кислотным является любой дождь, однако этот термин применим только в том случае, если pH дождевой воды меньше 5,0 (определение pH см. 6.1). Кислотные дожди возникают в результате попадания в атмосферу отработанных газов, выпускаемых металлургическими предприятиями, тепловыми электростанциями, нефтеперерабатывающими заводами, а также другими промышленными предприятиями и автомобильным транспортом. Эти газы содержат оксиды серы и азота.

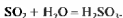
Оксид серы (IV), попавший в атмосферу, претерпевает ряд химических превращений, ведущих к образованию кислот. Частично оксид серы (IV) в результате фотохимического окисления превращается в оксид серы (VI) (серный ангидрид) SO_3 :



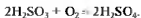
который реагирует с водяным паром атмосферы, образуя аэрозоли серной кислоты:



Основная часть выбрасываемого диоксида серы во влажном воздухе образует кислотный полигидрат $\text{SO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, который часто называют **сернистой кислотой** и изображают условной формулой H_2SO_3 :



Сернистая кислота во влажном воздухе постепенно окисляется до **серной**:



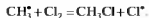
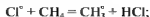
Аэрозоли серной и сернистой кислот приводят к конденсации водяного пара атмосферы и становятся причиной кислотных осадков (дожди, туманы, снег).

При сжигании топлива образуются твердые микрочастицы сульфатов металлов (в основном при сжигании угля), легко растворимые в воде, которые осаждаются на почву и растения, делая кислотными росы.

Аэрозоли серной и сернистой кислот составляют около $\frac{2}{3}$ кислотных осадков, остальное приходится на долю аэрозолей азотной и азотистой кислот, образующихся при взаимодействии оксида азота (IV) с водяным паром атмосферы:



Существуют еще два вида кислотных дождей, которые пока не отслеживаются мониторингом атмосферы. Находящийся в атмосфере хлор (выбросы химических предприятий; сжигание отходов; фотохимическое разложение фреонов, приводящее к образованию радикалов хлора) при соединении с метаном (источники поступления метана в атмосферу: антропогенный — рисовые поля, а также результат таяния гидрата метана в вечной мерзлоте вследствие потепления климата) образует хлороводород, хорошо растворяющийся в воде с образованием аэрозолей соляной кислоты:



Точкой обозначены радикалы хлора, образующиеся при разрыве молекулы хлора под действием ультрафиолетового излучения. Радикалы очень легко вступают в химическую реакцию, поэтому дополнительных воздействий для вышеуказанной реакции не требуется.

Очень опасны выбросы фтороводорода (в производстве алюминия, стекловом), который хорошо растворяется в воде, что приводит к появлению в атмосфере аэрозолей плавиковой кислоты.

Затем эти кислоты выпадают на землю — иногда на расстоянии многих сотен километров от источника загрязнения атмосферы. В таких странах, как Канада, США, ФРГ, тысячи рек и озер остались без растительности и рыбы. Дело усложняется тем, что вода с низким рН

способна выщелачивать (т.е. растворять) из грунта токсичные минералы, в том числе содержащие алюминий и такие тяжелые металлы, как кадмий и ртуть. Эти вещества малорастворимы в нейтральной воде и в обычных условиях не представляют опасности. Как оксид серы (IV), так и оксид азота (IV) могут быть удалены из отработанных газов, выпускаемых промышленными предприятиями, путем промывки, но их практически полное удаление обходится очень дорого. В настоящее время во многих промышленно развитых странах вводится или ужесточается законодательство, обеспечивающее снижение содержания диоксида серы и диоксида азота в выпускаемых газах до более приемлемого уровня.

Контрольные вопросы и задания

1. Какие газы и в каком количестве входят в состав воздуха?
2. Перечислите основные параметры воздуха.
3. Как рассчитывается относительная влажность воздуха?
4. Какие слои можно выделить в атмосфере?
5. Какие функции выполняет атмосфера?
6. Перечислите пути загрязнения атмосферы и основные загрязнители.
7. Что такое озоновые дыры? Каковы причины их появления?
8. В чем заключается парниковый эффект?
9. Какая характеристика свидетельствует о том, что дождь — кислотный?

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ К РАЗДЕЛУ «ХИМИЯ С ЭЛЕМЕНТАМИ ЭКОЛОГИИ»

№ 1. Влияние различных факторов на скорость химических реакций

Цель работы: изучить влияние природы реагирующих веществ, их концентрации и температуры на скорость химической реакции.

Оборудование и реактивы: штатив с пробирками, термостат, электрическая плитка или спиртовка, раствор соляной кислоты различной концентрации, серная кислота, образцы металлов (цинк, магний, железо), оксид меди, раствор щавелевой кислоты, раствор перманганата калия, раствор сульфата магния.

Ход работы

Опыт 1. Влияние природы реагирующих веществ на скорость реакции. В три пробирки налейте 5—7 мл раствора соляной кислоты одинаковой концентрации. В первую пробирку поместите образец цинка, во вторую — магния, в третью — железа. В какой пробирке скорость реакции выше и почему? Сделайте вывод о влиянии природы реагирующих веществ на скорость химической реакции.

Опыт 2. Влияние концентрации на скорость химической реакции. В одну пробирку налейте 5—7 мл разбавленного раствора соляной кислоты (1 : 10), во вторую — 5—7 мл более концентрированного раствора (1 : 3). В обе пробирки поместите по одному образцу цинка. По какому признаку вы будете судить о скорости химической реакции? Ответ подтвердите уравнением химической реакции. На основании наблюдения сделайте вывод о влиянии концентрации на скорость химической реакции.

Опыт 3. Влияние температуры на скорость химической реакции. В три пробирки налейте 5—7 мл раствора разбавленной серной кислоты. В пробирки поместите одинаковое количество оксид меди (II). Одну пробирку поместите в штатив и оставьте при комнатной температуре. Вторую пробирку поместите в термостат с температурой 60 °С или в стакан с горячей водой. Третью нагрейте в пламени спиртовки. Соблюдайте осторожность при использовании нагревательных приборов! Напишите уравнение химической реакции и сделайте вывод о влиянии температуры на скорость химической реакции. По каким видимым изменениям вы сделаете вывод?

Опыт 4. Катализ и автокатализ. В пробирку внесите 5 капель раствора щавелевой кислоты $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ и 2 капли раствора серной кислоты. Смесь перемешайте стеклянной палочкой. Затем по каплям добавляйте разбавленный раствор перманганата калия KMnO_4 . Отмечайте время обесцвечивания перманганата калия от прибавляйте первой капли, второй, третьей. Очередную каплю прибавлять после того, как исчезнет окраска от предыдущей.

Повторите опыт в другой пробирке, предварительно добавив к смеси растворов щавелевой и серной кислоты 4 капли сульфата марганца.

Уравнение реакции:



Объясните, почему во втором случае реакция протекает быстро, а в первом она постепенно ускоряется.

№ 2. Реакции ионного обмена

Цель работы: применить на практике теоретические знания о реакциях ионного обмена.

Оборудование и реактивы: штатив с пробирками, растворы сульфата меди (II), гидроксида натрия, хлорида кальция, ортофосфата натрия, нитрата бария, карбоната натрия, серная кислота, спиртовой раствор фенолфталеина.

Ход работы

Опыт 1. Реакции, идущие с образованием осадка. В одну пробирку налейте 3—4 мл раствора сульфата меди (II), во вторую — столько же раствора хлорида кальция, а в третью — сульфата алюминия. В первую пробирку добавьте немного раствора гидроксида натрия, во вторую — раствор ортофосфата натрия, а в третью — раствор нитрата бария. Во всех пробирках образуются осадки. Составьте уравнения реакций в молекулярном, ионном и сокращенном ионном виде. Объясните, почему образовались осадки. Растворы каких еще веществ можно прилить в пробирки, чтобы выпали осадки? Составьте уравнения этих реакций в молекулярном, ионном и сокращенном ионном виде.

Опыт 2. Реакции, идущие с выделением газа. В одну пробирку налейте 3—4 мл раствора сульфита натрия, во вторую — такой же объем раствора карбоната натрия. В каждую из них добавьте столько же

серной кислоты. В первой пробирке выделяется газ с острым запахом, во второй — газ без запаха. Составьте уравнения происходящих реакций в молекулярном, ионном и сокращенном ионном виде. Подумайте, какими еще кислотами можно было подействовать на данные растворы, чтобы получить аналогичные результаты. Составьте уравнения этих реакций в молекулярном, ионном и сокращенном ионном виде.

Опыт 3. Реакции, идущие с образованием малодиссоциирующего вещества. В одну пробирку налейте 3—4 мл раствора гидроксида натрия и добавьте две-три капли фенолфталеина. Раствор приобретает малиновый цвет. Затем прилейте раствор соляной или серной кислоты до обесцвечивания. В другую пробирку налейте примерно 10 мл сульфата меди (II) и добавьте немного раствора гидроксида натрия. Образуется голубой осадок гидроксида меди (II). Прилейте в пробирку серную кислоту до растворения осадка. Составьте уравнения происходящих реакций в молекулярном, ионном и сокращенном ионном виде. Поясните, почему в первой пробирке произошло обесцвечивание, а во второй — растворение осадка.

№ 3. Испытание растворов солей индикаторами

Цель работы: установить зависимость pH раствора соли от способности соли подвергаться гидролизу.

Оборудование и реактивы: штатив с пробирками, растворы хлорида натрия, карбоната натрия, сульфата меди (II), гидроксида натрия, соляной кислоты, сульфата железа (III), хлорида железа (III), фенолфталеиновая и универсальная индикаторная бумага, лакмус.

Ход работы

Опыт 1. В растворы хлорида натрия, карбоната натрия, сульфата меди (II) опустите индикаторную бумагу. Наблюдайте изменения окраски индикаторов. Сделайте вывод о реакции среды данных растворов. Подтвердите вывод уравнениями реакции гидролиза данных солей в молекулярной, ионной и сокращенной ионной форме.

Опыт 2. Исследуйте растворы сульфата железа (III), хлорида железа (III) на индикатор (универсальный или лакмус). Дайте объяснение наблюдаемому явлению и составьте уравнения первой стадии реакций гидролиза этих солей в молекулярной, ионной и сокращенной ионной форме.

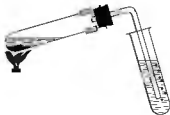
№ 4. Получение этилена. Изучение его свойств

Цель работы: получить этилен и изучить на практике его свойства.

Оборудование и реактивы: спиртовка, штатив с пробирками, газоотводная трубка, пробиркодержатель, этиловый спирт, раствор серной кислоты, раствор бромной воды, раствор перманганата калия.

Ход работы

В пробирку, укрепленную в штативе, налейте 5 мл выданной вам смеси этилового спирта с серной кислотой (1 : 3), добавьте в смесь немного песка (для равномерного кипения жидкости). Закройте пробирку пробкой с газоотводной трубкой. Смесь нагревайте осторожно на пламени спиртовки. Когда начнется выделение этилена, пропустите газ в пробирку с 2–3 мл бромной воды:



Как только бромная вода обесцветится, смените пробирку и пропустите этилен через подкисленный раствор перманганата калия. После обесцвечивания раствора перманганата калия газоотводную трубку необходимо вынуть из пробирки и повернуть ее отверстием вверх. Подождите выделяющийся этилен. Обратите внимание на характер пламени (светящееся или бесцветное). Затем погасите пламя спиртовки.

Задание. Объясните наблюдаемые явления. Составьте уравнения реакций.

№ 5. Химические свойства кислородсодержащих органических соединений

Цель работы: изучить и экспериментально подтвердить зависимость свойств органических соединений от строения молекулы на примере класса кислородсодержащих органических соединений.

Оборудование и реактивы: штатив с пробирками, пробиркодержатель, глицерин, сульфат меди (II), гидроксид меди (II), 70—80%-ный раствор уксусной кислоты, раствор гидроксида натрия, раствор хлорида меди (II), оксид меди (II), индикаторная бумага, металлический магний.

Ход работы

Опыт 1. Свойства глицерина

Растворимость глицерина в воде. В пробирку с 0,5 мл воды добавьте порциями по 0,5 мл, тщательно взбалтывая содержимое, 2 мл глицерина. Какие выводы можно сделать о растворимости глицерина в воде?

Взаимодействие глицерина с гидроксидом меди (II). К 1 мл раствора щелочи в пробирке добавьте равное количество раствора медного купороса. К образовавшемуся раствору гидроксида меди (II) прилейте 0,5 мл глицерина.

Объясните, какие изменения произошли. Составьте уравнения реакций. Будут ли наблюдаться такие же изменения, если вместо глицерина добавить этиловый спирт?

Опыт 2. Свойства уксусной кислоты

Испытание раствора кислоты индикатором. В пробирку с 2—3 мл раствора уксусной кислоты опустите полоску универсального индикатора. Поясните изменение окраски. По шкале определите величину pH. По величине pH сделайте вывод о силе уксусной кислоты.

Образование солей.

1. В пробирку с 2—3 мл уксусной кислоты внесите немного порошка магния. Что наблюдаете? Напишите уравнение химической реакции.

2. В пробирку с 2—3 мл уксусной кислоты внесите небольшое количество порошка оксида меди (II). Пробирку нагрейте. Что происходит? Напишите уравнение химической реакции.

3. К 2—3 мл раствора хлорида меди (II) прилейте такой же объем гидроксида натрия. На основании уравнения химической реакции сделайте вывод о составе осадка. К раствору с осадком прилейте раствор уксусной кислоты.

№ 6. Химические свойства белков

Цель работы: изучить химические свойства белков.

Оборудование и реактивы: штатив с пробирками, пробиркодержатель, белок куриного яйца, концентрированная азотная кислота, ги-

дроксид натрия, раствор сульфата меди, раствор ацетата свинца, 96%-ный этиловый спирт, раствор хлорида натрия.

Ход работы

Опыт 1. Ксантопротеиновая реакция. К 1 мл раствора белка в пробирке добавьте 2—3 капли (осторожно!) концентрированной азотной кислоты. Нагрейте содержимое пробирки. Осадок белка окрашивается в желтый цвет. Эта реакция основана на нитровании ароматических колец, входящих в состав аминокислот, образующих белок (тирозин, триптофан). Охладите смесь и добавьте к ней по каплям избыток концентрированного раствора аммиака или разбавленной щелочи. Окраска становится оранжевой.

Опыт 2. Биуретовая реакция. К 1 мл раствора белка в пробирке добавьте 1 мл раствора щелочи, а затем по каплям добавляйте раствор медного купороса. Вначале появляется красноватая окраска, которая переходит затем в красно-фиолетовую и далее — в сине-фиолетовую.

Опыт 3. Денатурация белка куриного яйца кислотами. Отделите белок одного куриного яйца и поместите его в стакан. Яичный белок в основном представляет собой раствор протеинов в воде. Это бесцветная вязкая жидкость. Добавьте к яйцу разбавленный раствор серной или соляной кислоты и перемешайте. Жидкость превратится в белую творожистую массу, похожую на скисшее молоко. Под действием кислоты белок денатурирует и выпадает в осадок.

Опыт 4. Денатурация белка куриного яйца тяжелыми металлами. В две пробирки налейте по 1—2 мл раствора белка и медленно, при встряхивании, по каплям добавьте в одну пробирку насыщенный раствор медного купороса, а в другую — раствор ацетата свинца. Отметьте образование труднорастворимых солеобразных соединений белка. Данный опыт иллюстрирует применение белка как противоядия при отравлении тяжелыми металлами.

Опыт 5. Денатурация белка куриного яйца спиртом. К 1 мл 1%-ного раствора белка добавляют 2 мл органического растворителя (96%-ного этанола, хлороформа, ацетона или эфира) и перемешивают. Образование осадка можно усилить добавлением нескольких капель насыщенного раствора хлорида натрия.

Напишите свои наблюдения.

Опыт 6. Денатурация белка куриного яйца при нагревании:

а) в четыре пронумерованные пробирки прилейте по 10 капель 1%-ного раствора яичного белка;

- б) первую пробирку нагрейте до кипения. Раствор белка мутнеет, но так как частицы денатурированного белка несут заряд, они в осадок не выпадают. Это связано с тем, что яичный белок имеет кислые свойства (изоэлектрическая точка его равна $\text{pH } 4,8$) и в нейтральной среде заряжен отрицательно;
- в) во вторую пробирку добавьте 1 каплю 1%-ного раствора уксусной кислоты и нагревают до кипения. Выпадает осадок белка, так как раствор белка приближается к изоэлектрической точке и белок теряет заряд;
- г) в третью пробирку добавьте 1 каплю 10%-ного раствора уксусной кислоты и нагревают до кипения. Осадок не образуется, так как в сильнокислой среде частицы белка приобретают положительный заряд (сохраняется один из факторов устойчивости белка в растворе);
- д) в четвертую пробирку добавьте 1 каплю 10%-ного раствора гидроксида натрия и нагрейте до кипения. Осадок не образуется, так как в щелочной среде отрицательный заряд частиц белка увеличивается.

№ 7. Оценка качества воды

Цель работы: провести сравнительную оценку водопроводной и природной воды.

Оборудование и реактивы: штатив с пробирками, колба с притертой пробкой, спиртовка, пробиркодержатель, технические весы, цилиндр, тигельные щипцы, фарфоровая чашечка, универсальный индикатор, растворы иодида калия, гидроксида аммония, водопроводная вода, вода природного источника, дождевая вода.

Ход работы

Опыт 1. Определение запаха воды:

- а) заполните колбу водой на треть объема и закройте пробкой;
- б) взболтайте содержимое колбы;
- в) откройте колбу и осторожно, неглубоко вдыхая воздух, сразу же определите характер и интенсивность запаха. Если запах не ощущается или запах неотчетливый, испытание можно повторить, нагрев воду в колбе до температуры $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ (подержав колбу в горячей воде).

Характер запаха выражают описательно: без запаха, сероводородный, болотный, гнилостный, запах нефтепродуктов, плесневый и т.п.

Интенсивность запаха оценивают по шкале, приведенной в таблице:

Балл	Интенсивность	Описательная характеристика
0	Нет	Отсутствие осязаемого запаха
1	Очень слабый	Слабоощущаемый запах, выявляется только при нагревании
2	Слабый	Слабоощущаемый запах
3	Заметный	Легко обнаруживается, но интенсивность запаха невелика
4	Отчетливый	Интенсивность запаха очень велика

Опыт 2. Определение цветности:

- заполните колбу на две трети части водой;
- определите цветность воды, рассматривая колбу сверху на белом фоне при достаточном освещении (дневном, искусственном).

Цветность воды характеризуется следующим образом: бесцветная, зеленоватая, желтая, бурая и т.п.

Опыт 3. Определение мутности:

- заполните колбу на две трети части водой;
- определите мутность воды, рассматривая колбу сверху на темном фоне при достаточном боковом освещении.

Воду в зависимости от *степени прозрачности* условно подразделяют: 1) на прозрачную, 2) слабоопалесцирующую, 3) опалесцирующую, 4) слегка мутную, 5) мутную, 6) сильномутную.

Опыт 4. Определение качества воды по сухому остатку:

- чистую фарфоровую чашку взвесьте на технических весах;
- отмерьте мерным цилиндром 250 мл исследуемой воды;
- выпарите исследуемую воду в фарфоровой чашке, подливая воду небольшими порциями по мере испарения и если необходимо, предварительно профильтровав;
- фарфоровую чашку просушите в сушильном шкафу или на воздухе в теплом помещении;
- фарфоровую чашку с остатком взвесьте и рассчитайте количество сухого остатка (С).

Результат исследования:

- вода пригодна для питья, если ее сухой остаток не более 1 г/л;
- вода пригодна для полива. По общей минерализации воду можно охарактеризовать так:
 - 0,4 г/л — хорошая оросительная вода,
 - 1—1,5 г/л — допустимая для орошения,
 - 1,5—3 г/л — вода требует осторожного орошения,

- 4 г/л и более — вода не пригодна для орошения,
- 200 мг/л или 0,2 г/л — вода пригодна для питья.

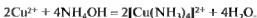
Опыт 5. Водородный показатель pH. В пробирку наливают 5 мл исследуемой воды, 0,1 мл универсального индикатора, перемешивают и по окраске раствора оценивают величину pH:

- розово-оранжевая pH около 5;
- светло-желтая pH — 6;
- светло-зеленая pH — 7;
- зеленовато-голубая pH — 8.

Можно использовать универсальную индикаторную бумагу.

Опыт 6. Определение иона свинца (качественное). Йодид калия дает в растворе с ионами свинца характерный осадок PbI_2 . Исследования производятся следующим образом. К испытуемому раствору прибавьте немного KI, после чего, добавив CH_3COOH , нагрейте содержимое пробирки до полного растворения первоначально выпавшего мало характерного желтого осадка PbI_2 . Охладите полученный раствор под краном, при этом PbI_2 выпадет снова, но уже в виде красивых золотистых кристаллов. Напишите уравнение химической реакции.

Опыт 7. Определение ионов меди (качественное). В фарфоровую чашку поместите 3—5 мл исследуемой воды, выпарить досуха, затем прибавьте одну каплю концентрированного раствора гидроксида аммония. Появление интенсивно синего цвета свидетельствует о появлении меди:



Опыт 8. Определение окисляемости воды:

- а) в пробирку налейте 5—7 мл исследуемой воды;
- б) добавьте к воде три капли 0,03 М перманганата калия, полученный раствор оставьте на 20 мин., наблюдая за полученной окраски;
- в) сделайте вывод о степени загрязнения исследуемой воды органическими примесями, если:
 - малиновая окраска — вода удовлетворительная,
 - красноватая — вода подозрительная,
 - желто-бурая — недоброкачественная.

В природных водах окисляемость воды обусловлена наличием гуминовых веществ, сероводорода, ионов двухвалентного железа.

На основании выполненной лабораторной работы дайте сравнительную характеристику исследуемых проб воды.

№ 8. Жесткость воды и ее устранение

Цель работы: изучение способов устранения жесткости воды, контроль за их эффективностью осуществляется с помощью качественных реакций на катионы Ca^{2+} и Mg^{2+} .

Оборудование и реактивы: штатив с пробирками; растворы хлорида кальция, хлорида аммония, оксалата аммония, фосфата натрия, гидроксида натрия, гидроксида кальция, карбоната натрия, натриевая соль этилендиаминатетрауксусной кислоты (трилон Б), мыло.

Ход работы

Опыт 1. Определение ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в воде с помощью качественных реакций

1. В одну пробирку налейте 35 мл (около $\frac{1}{4}$ объема) исследуемой воды. В другую — раствор CaCl_2 . В каждую добавьте по 2—3 мл раствора оксалата аммония $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$. Наблюдайте изменения в пробирках и объясните их с помощью химических реакций. Сделайте вывод о наличии солей кальция в исследуемой воде.

2. В пробирку налейте 3—5 мл исследуемой воды, и добавьте 2—3 мл раствора фосфата натрия Na_3PO_4 . Напишите уравнение реакции. Сделайте вывод о наличии солей кальция в исследуемой воде.

3. В две пробирки налить по 3—5 мл исследуемой воды, в две — раствор MgCl_2 . В пробирку с исследуемой водой и контрольную добавить 2—3 мл раствора щелочи (NaOH или KOH), в две другие — 2—3 мл фосфата натрия. Напишите уравнение реакций. Сделайте вывод о наличии солей магния в исследуемой воде.

Опыт 2. Устранение жесткости воды методом осаждения

1. В три пробирки налейте по 3—5 мл жесткой воды, содержащей гидрокарбонаты кальция и магния $[\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2]$. Одну пробирку прокипятите, во вторую добавьте 2—3 мл раствора гашеной извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$, в третью 2—3 мл раствора соды Na_2CO_3 . Наблюдайте изменения в пробирках и поясните их с помощью химических реакций.

2. Прделайте те же эксперименты, что и в предыдущем случае, с растворами CaCl_2 , MgCl_2 , CaSO_4 и MgSO_4 . На основании наблюдений сделайте вывод о характере жесткости воды. Приведите уравнение реакций.

3. Налейте в две пробирки жесткой воды, в одну добавьте 2—3 мл раствора кальцинированной соды Na_2CO_3 или фосфата натрия Na_3PO_4 . В каждую пробирку внесите по маленькому кусочку (0,5—1 г мыла (на-

триевая соль стеариновой кислоты $C_{17}H_{35}COONa$), содержимое пробирок взболтайте. Объясните наблюдаемые различия в моющем растворе мыла по образованию пены. Напишите уравнения реакций.

Опыт 3. Устранение жесткости воды с помощью комплексообразующего агента. Жесткость воды может быть устранена путем связывания ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в прочные соединения с некоторыми веществами (комплексонами). Одним из таких веществ является натриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты, или трилон Б. Возьмите две пробирки, в каждую налейте по 2—3 мл жесткой воды, содержащей $CaCl_2$ (или $MgCl_2$). В первую добавьте 2—3 мл 0,1 м раствора трилона Б, затем такое же количество Na_2CO_3 . Во вторую добавьте 2—3 мл трилона Б и проделайте качественную реакцию на ион Ca^{2+} (Mg^{2+}). Объясните результаты опыта. Напишите уравнение химической реакции.

№ 9. Очистка грязной воды

Цель работы: изучить на практике физические методы очистки грязной воды.

Оборудование и реактивы: штатив, воронка, резиновый шланг с зажимом, пластиковый стаканчик, песок, гравий, древесный уголь.

Ход работы

Опыт 1. Отделение воды от масла. Вода и масло незначительно смешиваются друг с другом. Если оставить стоять смесь этих двух веществ, она разделится на два слоя, причем масло окажется сверху.

1. Вставьте воронку в фарфоровый треугольник и поместите ее в кольцевой держатель, как показано на рис. 1. Прикрепите резиновый шланг к концу воронки.

2. Пережмите резиновую трубку зажимом. Налейте примерно половину данного вам образца грязной воды в воронку. Дайте отстояться до отделения водного слоя.

3. Осторожно откройте зажим и слейте нижний слой в стаканчик объемом 150 мл. Сразу после этого перекройте зажим.

4. Слейте оставшийся слой во второй такой же стаканчик.

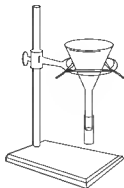


Рис. 1

5. Повторите стадии 2—4 для оставшейся половины вашего образца, добавляя жидкость из того или другого слоя в соответствующие стаканчики.

6. Вылейте верхний, масляный слой в ту емкость, которую укажет преподаватель. Изучите внешний вид и измерьте объем оставшегося, водного слоя. Сохраните его для последующих опытов.

Опыт 2. Фильтрация через песок. Песочный фильтр захватывает твердые загрязнения, которые слишком велики, для того чтобы пройти между песчинками.



Рис. 2



Рис. 3

1. Распрямите скрепку для бумаги и с ее помощью сделайте небольшие дырки в доньшке пластмассового стаканчика (рис. 2).

2. Насыпьте в этот стаканчик последовательными слоями гравий и песок, как показано на рис. 3 (нижний слой гравия предотвращает вымывание песка через дырки. Верхний слой гравия нужен для того, чтобы песок не взмучивался при вливании воды).

3. *Осторожно* налейте фильтруемый раствор в стаканчик. Соберите отфильтрованную воду в отдельный стакан.

4. Выбросьте использованный песок и гравий в соответствии с указаниями преподавателя. *Ни в коем случае не выкидывайте песок и гравий в раковину!*

5. Рассмотрите внешний вид и измерьте объем воды. Сохраните ее для последующих опытов.

Опыт 3. Адсорбция древесным углем. Древесный уголь адсорбирует (поглощает, задерживает на своей поверхности) многие вещества, которые могут придавать воде мутный вид, а также неприятные запах и вкус. С этой целью древесный уголь часто используют в аквариумах для рыб.

1. Сверните бумажный фильтр, как показано на рис. 4.

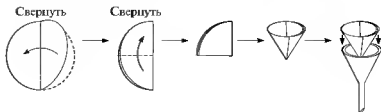


Рис. 4

2. Поместите свернутый бумажный фильтр в воронку. Слегка смочите фильтр для того, чтобы он прилип к воронке.

3. Закрепите воронку, как показано на рис. 1, и опустите кольцо штатива таким образом, чтобы конец воронки оказался бы на 2—3 см внутри стаканчика на 150 мл.

4. Поместите древесный уголь в стаканчик объемом 150 мл слоем высотой 2 см.

5. Добавьте образец воды к древесному углю в стаканчике, перемешайте смесь и осторожно пропустите ее через бумажный фильтр. Следите, чтобы жидкость не протекала между фильтровальной бумагой и воронкой и, чтобы уровень жидкости находился ниже верха бумажного фильтра.

6. Если фильтрат содержит небольшие темные частички древесного угля, профильтруйте жидкость еще раз. Для этого используйте чистый кусок смоченной фильтровальной бумаги.

После того как вы останетесь довольны внешним видом и запахом очищенной воды, слейте ее в мерный цилиндр. Запишите конечный объем очищенного образца.

Расчеты

Проведите следующие расчеты и напишите ответы в тетради.

Сколько процентов от исходной грязной воды составляет «чистая» вода? Процент чистой воды рассчитывают по формуле

$$\omega = \frac{V_{\text{чистой воды}}}{V_{\text{исходный}}} \cdot 100\%$$

Какой процент жидкости теряется в результате очистки?

Какой объем грязной воды был потерян в результате очистки?

№ 10. Измерение уровня CO₂

Ход работы

Выберите участок автотрассы вблизи учебного заведения (длиной 0,5—1 км, имеющий хороший обзор (из окна, из парка, с прилегающей территории)).

Измерьте шагами длину участка (в м), предварительно определив среднюю длину своего шага. Определите число единиц автотранспорта, проходящего по участку в течение 20 мин, 1 ч. При этом заполняйте табл. 1.

Таблица 1

Тип автотранспорта	Количество автомобилей, ед.		Общий путь за 1 ч, L , км
	за 20 мин	за 1 ч, N_j	
Легковые автомобили			
Грузовые автомобили			
Автобусы			
Дизельные грузовые автомобили			
Газели			

Количество выбросов вредных веществ, поступающих от автотранспорта в атмосферу, может быть оценено расчетным методом. Исходными данными для расчета количества выбросов являются:

- число единиц автотранспорта, проезжающего по выделенному участку автодороги в единицу времени;
- нормы расхода топлива автотранспортом (средние нормы расхода топлива автотранспортом при движении в условиях города приведены в табл. 2).

Таблица 2

Нормы расхода топлива

Тип автотранспорта	Средняя норма расхода топлива, л на 100 км	Удельный расход топлива Y_j , л на 1 км
Легковые автомобили	11–13	0,11–0,13
Грузовые автомобили	29–33	0,29–0,33
Автобусы	41–44	0,41–0,44
Дизельные грузовые автомобили	31–34	0,31–0,34
Газели	8–10	0,08–0,10

Значения эмпирических коэффициентов (K), определяющих выброс вредных веществ от автотранспорта в зависимости от вида горячего, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Коэффициенты выброса

Вид топлива	Значение коэффициента (K)
	Угарный газ
Бензин	0,6
Дизельное топливо	0,1

Коэффициент K численно равен количеству вредных выбросов углекислого газа соответствующего компонента при сгорании в двигателе автомашины количества топлива, равного удельному расходу (л/км).

Обработка результатов и выводы

1. Рассчитайте общий путь, пройденный выявленным числом автомобилей каждого типа за 1 ч (L , км), по формуле

$$L_j = N_j \times L,$$

где j — обозначение типа автотранспорта, L — длина участка, км; N_j — число автомобилей каждого типа за 1 ч.

2. Рассчитайте количество топлива (Q_j , л) разного вида, сжигаемого при этом двигателями автомашин, по формуле $Q_j = L_j \times Y_j$ и занесите результат в табл. 4.

Таблица 4

Расход топлива

Тип автомобиля	L_j	Q_j	
		Бензин	Дизельное топливо
Легковые автомобили			
грузовые автомобили			
Автобусы			
Дизельные грузовые автомобили			
Всего Q			

3. Рассчитайте объем выделившихся вредных веществ в литрах (V) при нормальных условиях по каждому виду топлива и всего, занесите результат в табл. 5. Для расчета объема воспользуйтесь формулой $V = Q \cdot K_{\text{соответствующего компонента}}$

Таблица 5

Объем выбросов

Вид топлива Q , л	Количество CO_2 , л
Бензин	
Дизельное топливо	
Всего (V), л	

4. Рассчитайте массу выделившихся вредных веществ (m , г) по формуле

$$m = \frac{V \cdot M}{22,4},$$

где M — молекулярная масса CO_2 соответствующего вредного вещества.

5. Рассчитайте количество чистого воздуха, необходимое для разбавления CO_2 выделившихся вредных веществ для обеспечения санитарно допустимых условий окружающей среды по методу пропорции, пользуясь данными табл. 6.

Таблица 6

Предельные допустимые концентрации токсичных составляющих отработавших газов в воздухе населенных мест

Вид выбросов	Среднесуточный ПДК, мг/м ³	Класс опасности
CO_2	3,0	4

6. Результаты запишите в табл. 7.

Таблица 7

Вид вредного вещества	Количество (объем) выбросов, л	Масса, г	Объем воздуха для разбавления, м ³	Значение ПДК, мг/м ³
CO_2				

Принимая во внимание близость к автомагистрали жилых и общественных зданий, сделайте вывод об экологической обстановке в районе исследованного вами участка автомагистрали.

№ 11. Механизм образования кислотных дождей

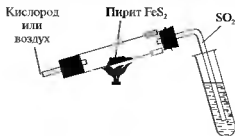
Цель работы: изучить в смоделированных условиях механизм образования кислотных дождей.

Оборудование и реактивы: штатив с пробирками, пробиркодержатель, штатив, газоотводная трубка, газометр, спиртовка или электрическая плитка с асбестовой сеткой, пирит, раствор хлорида бария, универсальный индикатор, рассада растений.

Ход работы

Опыт 1. Получение оксида серы (IV). Соберите прибор, как указано на рисунке. Кусочки пирита поместите в стеклянную трубку. Нагрейте трубку в пламени спиртовки и пропустите из газометра воздух или

кислород. Образующийся в результате реакции газ с резким запахом растворите в воде. Напишите уравнения химических реакций.



Получите несколько пробирок с раствором.

Опыт 2. Содержимое одной пробирки поделите на две части, в одну часть добавьте раствор хлорида бария, в другую — универсальный индикатор. Сделайте вывод о природе раствора на основании полученных результатов.

Опыт 3. Получите несколько пробирок с растворенным в воде газом. В течение нескольких дней поливайте часть рассады растений полученным раствором. Наблюдайте изменения по сравнению с контрольным образцом.

На основании проделанной работы опишите механизм образования кислотных дождей и сделайте вывод о влиянии кислотных дождей на экологию.

№ 12. Определение содержания аскорбиновой кислоты (витамина С) в различных напитках методом титрования

Цель работы: изучить на практике методику определения витамина С в быту, сравнить содержание витамина С в различных напитках.

Оборудование и реактивы: стаканы, пипетка или шприц на 5 мл (без иглы), таблетки аскорбиновой кислоты, раствор йода, крахмальный клейстер, лимонная кислота, фруктовые соки.

Ход работы

Приготовление крахмального клейстера: всыпьте в стакан с небольшим количеством холодной воды немного крахмала и тщательно перемешайте. Добавьте к полученной смеси горячую воду и опять перемешайте — крахмальный клейстер готов.

Приготовление водного раствора йода: растворите в 100 мл воды 20—30 капель спиртового раствора йода, чтобы окраска раствора по цвету напоминала крепкий чай. Наполните пипетку или шприц раствором йода

Приготовление контрольного раствора аскорбиновой кислоты: растворите две таблетки аскорбиновой кислоты (по 0,025 г в 50 мл воды).

Ход работы

1. Отберите 5 мл полученного раствора аскорбиновой кислоты в стакан для титрования.

2. Добавьте несколько капель крахмального клейстера.

3. Медленно, по каплям, из пипетки или шприца добавляйте раствор йода к анализируемому раствору, постоянно его взбалтывая.

4. Продолжайте добавлять йод, пока не появится устойчивая синяя окраска (не исчезает более 20 с).

5. Запишите объем раствора йода, пошедший на титрование.

6. Повторите опыт еще раз с 5 мл контрольного раствора аскорбиновой кислоты.

7. Возьмите среднее значение. Этот объем раствора йода V_0 соответствует 5 мг аскорбиновой кислоты.

8. Проведите анализ различных соков на содержание аскорбиновой кислоты. Для этого в чистый стакан отмерьте 5 мл исследуемого сока и выполните пункты 3—5 фотометодики.

9. Занесите результаты в табл. 1.

Таблица 1

Напиток	Количество раствора йода, мл	Количество мг аскорбиновой кислоты в 5 мл раствора
Контрольный раствор	$V_0 =$	$m_0 = 5$
№ 1	$V_1 =$	$m_1 =$
№ 2	$V_2 =$	$m_2 =$
№ 3	$V_3 =$	$m_3 =$

Для расчета массы аскорбиновой кислоты воспользуйтесь формулой:

$$m_1 = 5 \frac{V_1}{V_0}, \quad m_2 = 5 \frac{V_2}{V_0} \text{ и т.д.}$$

10. Расположите соки в порядке уменьшения содержания аскорбиновой кислоты.

11. Проведите дополнительное исследование на устойчивость аскорбиновой кислоты к кипячению. Приготовьте контрольный раствор (пункт 1) и прокипятите его в течение 10 мин. Возьмите 5 мл пробы и повторите пункты 2—5. Сравните полученный результат с данными для контрольного раствора.

12. Проведите дополнительное исследование на устойчивость аскорбиновой кислоты к контакту с железом. Опустите в контрольный раствор аскорбиновой кислоты гвозди на 30 мин. Возьмите 5 мл пробы и повторите пункты 2—5. Сравните полученный результат с данными для контрольного раствора.

13. Проведите дополнительное исследование на повышение стабилизации аскорбиновой кислоты при добавлении небольшого количества лимонной кислоты. Добавьте в контрольный раствор аскорбиновой кислоты немного лимонной кислоты. Возьмите 5 мл пробы и повторите пункты 2—4. Сравните полученный результат с данными для контрольного раствора.

14. Результаты занесите в табл. 2.

Таблица 2

Фактор	Количество раствора йода, мл	Количество мг аскорбиновой кислоты в 5 мл раствора
Контрольный раствор	$V_0 =$	$m_0 = 5$
Кипячение	$V_1 =$	
Контакт с железом	$V_2 =$	
Добавление лимонной кислоты	$V_3 =$	

№ 13. Качественный анализ сырого молока

Цель работы: исследовать состав молока.

Оборудование и реактивы: штатив с пробирками, воронки, фильтры, водяная баня, спиртовка, фарфоровая чашка, эфир, 60—80%-ный раствор уксусной кислоты, насыщенный раствор поваренной соли, раствор соды, сырое молоко.

Ход работы

1. Обнаружение казеина в молоке: молоко разбавляют равным объемом воды и добавляют несколько капель уксусной кислоты.

2. Обнаружение жира в молоке: к сырому молоку добавляют раствор соды, перемешивают и взбалтывают с эфиром, затем выпаривают в фарфоровой чашке.

Сделайте вывод о составе цельного молока. Перечислите основные группы веществ, образующих данный продукт питания.

№ 14. Определение железа в продуктах питания

Цель работы: изучить метод определения содержания железа в продуктах питания.

Оборудование и материалы: ступка с пестиком, мерная пробирка, пипетка, перекись водорода, раствор азотной кислоты, раствор роданида калия KSCN, яблоко, говядина, курага, зеленый лук.

Ход работы

1. В ступке измельчить образцы анализируемых продуктов одинаковой массы, добавить 10 мл азотной кислоты, 1—2 мл пероксида водорода. Полученную смесь перетереть и перенести в стакан.

2. Отобрать по 2 мл экстракта добавить одну каплю 20%-ного раствора роданида калия KSCN.

3. Сравнить окраску полученных растворов с колориметрической шкалой (табл.).

4. Сделайте вывод об относительном содержании железа в исследуемых продуктах питания.

Таблица

Колориметрическая шкала

Концентрация Fe ³⁺ , мг/л	100	10	1	0,5	0,1
Окраска раствора	Буро-красная	Темно-красная	Розовая	Светло-красная	Отсутствует

РАЗДЕЛ III

БИОЛОГИЯ

С ЭЛЕМЕНТАМИ ЭКОЛОГИИ

ГЛАВА 11. НАИБОЛЕЕ ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ЖИЗНИ

11.1. Жизнь, ее свойства, уровни организации, происхождение и разнообразие

11.1.1. Понятие «жизнь». Основные признаки живого

Биология — это наука о жизни. Но что такое жизнь? В 1894 году Фридрих Энгельс в работе «Диалектика природы» дал классическое определение жизни: «Жизнь есть способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их внешней средой, причем с прекращением этого обмена веществ прекращается и жизнь, что приводит к разложению белка».

В XX веке делались многочисленные попытки дать определение жизни, отражающие всю многогранность данного процесса.

Все определения содержали следующие постулаты, отражающие сущность жизни:

- жизнь есть особая форма движения материи;
- жизнь есть обмен веществ и энергии в организме;
- жизнь есть жизнедеятельность в организме;
- жизнь есть самовоспроизведение организмов, которое обеспечивается передачей генетической информации от поколения к поколению.

В самом общем смысле **жизнь** можно определить как активное, идущее с затратой энергии, полученной извне, поддержание и самовоспроизведение специфических структур, состоящих из биополимеров — белков и нуклеиновых кислот.

Ни нуклеиновые кислоты, ни белки в отдельности не являются субстратом жизни. Они становятся субстратом жизни лишь тогда, когда находятся и функционируют в клетках. Вне клеток — это химическое соединения.

По определению отечественного биолога В.М. Волькенштейна, «живые тела, существующие на Земле, представляют собой открытые саморегулирующиеся и самовоспроизводящиеся системы, построенные из биополимеров — белков и нуклеиновых кислот».

Строгого и четкого определения понятия «жизнь» не существует. По этой причине мы не можем с достаточной степенью достоверности говорить о ее природе или происхождении. Однако возможно перечислить и описать те признаки живой материи, которые отличают ее от неживой.

Основные признаки живого.

1. Единство химического состава. Живые существа образованы теми же химическими элементами, что и неживые объекты, но в живых существах 90% массы приходится на четыре элемента: углерод — С, кислород — О, азот — N, водород — H, которые участвуют в образовании сложных органических молекул, таких как белки, нуклеиновые кислоты, углеводы, липиды.

2. Единство структурной организации. Клетка является единой структурно-функциональной единицей, а также единицей развития почти для всех живых организмов на Земле. Исключением являются вирусы, но у них свойства проявляются, лишь когда они находятся в клетке. Вне клетки жизни нет.

3. Открытость. Все живые организмы представляют собой **открытые системы**, т.е. системы, устойчивые лишь при условии непрерывного поступления в них энергии и вещества из окружающей среды.

4. Обмен веществ и энергии. Все живые организмы способны к обмену веществ с окружающей средой. Обмен веществ осуществляется в результате двух взаимосвязанных процессов: *синтеза* органических веществ в организме (за счет внешних источников энергии — света и пищи) и *процесса распада* сложных органических веществ с выделением энергии, которая затем расходуется организмом. Обмен веществ обеспечивает постоянство химического состава в непрерывно меняющихся условиях окружающей среды.

5. Самовоспроизведение (репродукция). Способность к самовоспроизведению является важнейшим свойством всех живых организмов. В ее основе лежит информация о строении и функциях любого живого организма, заложенная в нуклеиновых кислотах и обеспечивающая специфичность структуры и жизнедеятельности живого.

6. Саморегуляция. Любой живой организм подвергается воздействию непрерывно меняющихся условий окружающей среды. В то же время для протекания процессов жизнедеятельности в клетках необходимы определенные условия. Благодаря механизмам саморегуляции сохраняется относительное постоянство внутренней среды организма, т.е. поддерживается постоянство химического состава и интенсивность течения физиологических процессов (иными словами, поддерживается гомеостаз: от греч. *homoios* — «одинаковый» и *stasis* — «состояние»).

7. Рост — это увеличение в размерах и массе с сохранением общих черт строения. Рост организма сопровождается увеличением размера клеток или увеличением числа самих клеток. Часто эти процессы наблюдаются одновременно.

8. Развитие — необратимое и направленное закономерное изменение объектов живой и неживой природы. Развитие живого представлено *онтогенезом* (*индивидуальным развитием*) и *филогенезом* (*историческим развитием*). В процессе онтогенеза постепенно и последовательно проявляются индивидуальные свойства организмов и осуществляется рост. Результатом филогенеза является общее прогрессивное усложнение жизни и все многообразие живых организмов на Земле.

9. Дискретность. Само слово «дискретность» произошло от латинского *discretus*, что означает «прерывистый, разделенный». **Дискретность** — всеобщее свойство материи. Так, из курса физики и общей химии известно, что каждый атом состоит из элементарных частиц, что атомы образуют молекулу. Простые молекулы входят в состав сложных соединений. Дискретность строения организма — основа его структурной упорядоченности. Она создает возможность постоянного самообновления организма путем замены «износившихся» структурных элементов (молекул, ферментов, органоидов клетки, целых клеток) без прекращения выполняемой функции. Дискретность вида предопределяет возможность его эволюции путем гибели или устранения от размножения неприспособленных особей и сохранения индивидов с полезными для выживания признаками.

10. Ритмичность. Периодические изменения в окружающей среде оказывают глубокое влияние на живую природу и на собственные ритмы живых организмов. В биологии под ритмичностью понимают периодические изменения интенсивности физиологических функций и формообразовательных процессов с различными периодами колебаний (от нескольких секунд до года и столетия). Хорошо известны суточные ритмы сна и бодрствования у человека; сезонные ритмы активности и спячки у некоторых млекопитающих (суслики, ежи, медведи) и многие другие.

Ритmicность направлена на согласование функций организма с окружающей средой, т.е. на приспособление к периодически меняющимся условиям существования.

11. Раздражимость. В процессе эволюции у животных организмов выработалось и закрепилось свойство избирательно реагировать на внешние воздействия. Это свойство носит название *раздражимости*. Всякое изменение условий среды, окружающих организм, представляет собой по отношению к нему раздражение, а его реакция на внешние раздражители служит показателем его чувствительности и проявлением раздражимости.

Реакция многоклеточных животных на раздражение осуществляется через посредство нервной системы и называется *рефлексом*.

Организмы, не имеющие нервной системы, например простейшие или растения, лишены и рефлексов. Их реакции, выражающиеся в изменении характера движения или роста, принято называть *таксисами* или *тропизмами*, прибавляя при их обозначении название раздражителя. Например, фототаксис — движение в направлении к свету; хемотаксис — перемещение организма по отношению к концентрации химических веществ. Каждый род таксиса может быть положительным или отрицательным в зависимости от того, действует раздражитель на организм притягивающим или отталкивающим образом.

Под тропизмами понимают определенный характер роста, который свойствен растениям. Так, гелиотропизм (от греч. *helios* — Солнце) означает рост наземных частей растений (стебля, листьев) по направлению к Солнцу, а геотропизм (от греч. *geo* — Земля) — рост подземных частей (корней) в направлении к центру Земли.

Для растений характерны также *настии* — движения частей растительного организма, например движение листьев в течение светового дня, зависящее от положения Солнца на небосводе, раскрытие и закрытие венчика цветка и т.д.

12. Наследственность и изменчивость. Преемственность поколений обеспечивается наследственностью. Потомки не являются копиями своих родителей из-за способности наследственной информации к изменениям — изменчивости.

13. Приспособленность живых существ к среде обитания. Приспособленность — это общая черта организма. Под приспособленностью можно понимать целесообразность организмов, их соответствие среде обитания.

Приспособленность = целесообразность =
= Соответствие среде обитания.

11.1.2. Уровни организации живой природы

Важными свойствами живых систем являются многоуровневость и иерархическая организация (греч. *hierarchia* — порядок подчинения). Части биологических систем сами являются системами, состоящими в свою очередь, из взаимосвязанных частей. На любом уровне каждая живая система уникальна и отличается от себе подобных. Ученые на основании особенностей проявления свойств живого выделяют несколько уровней организации живой природы: (табл. 11.1; рис. 11.1).

Таблица 11.1

Уровни организации живого

Уровень организации живой материи	Краткая характеристика уровня
Молекулярный	Любая система состоит из биологических макромолекул: нуклеиновых кислот, белков, полисахаридов. С этого уровня начинаются процессы жизнедеятельности организма: передача и реализация наследственной информации, обмен веществ и превращение энергии и др.
Надмолекулярный	Молекулы различных химических веществ, объединяясь друг с другом, образуют различные органоиды (части) клетки: митохондрии, пластиды, рибосомы и др. Каждый из органоидов имеет специфичное строение и выполняет свой комплекс функций в клетке
Клеточный	<i>Клетка</i> — структурная и функциональная единица, а также единица развития всех живых организмов, обитающих на Земле. На уровне клетки координируются все процессы; передача информации, обмен веществ
Органо-тканевой	Клетки, сходные по строению, происхождению, выполняемым функциям, объединяются в ткань. Ткани образуют органы, а органы объединяются в системы органов
Организменный	Элементарной единицей организменного уровня служит особь, которая рассматривается в развитии — от момента зарождения до прекращения существования как живая система. Наиболее высокообразованные организмы состоят из объединенных в неразрывное целое систем органов
Популяционно-видовой	<i>Популяция</i> — надорганизменная система. Она возникает тогда, когда совокупность организмов одного и того же вида на длительный срок объединяется общим местообитанием. В этой системе осуществляются элементарные эволюционные преобразования

Уровень организации живой материи	Краткая характеристика уровня
Биоценотический	<i>Биоценоз</i> — совокупность различных видов растений, животных, грибов, микроорганизмов, обитающих совместно. В биоценоз объединяются такие группы организмов, как продуценты, консументы, редуценты. Они выполняют разные функции, связанные с передачей и превращением вещества и энергии
Биогеоценотический	<i>Биогеоценоз</i> — совокупность организмов различных видов и различной сложности организации с факторами среды их обитания. В результате образуется динамичное, но устойчивое сообщество
Биосферный	<i>Биосфера</i> (живая оболочка Земли) — совокупность всех биогеоценозов. Это система, охватывающая все явления жизни на нашей планете. На этом уровне происходит круговорот веществ и превращение энергии, связанные с жизнедеятельностью всех живых организмов

11.1.3. Происхождение жизни

Зарождение жизни на Земле, в целом, по-прежнему остается загадкой. Но с тех пор как Чарльз Дарвин впервые описал процесс эволюции растительного и животного мира, ученые придерживаются мнения, что все формы жизни находятся в процессе постоянного и непрерывного развития.

Существует несколько подходов к решению вопроса о происхождении жизни, которые тесно переплетаются между собой. Классифицировать их можно следующим образом: (табл. 11.2).

1. Креационизм. Согласно этой теории, жизнь возникла результате какого-то сверхъестественного события в прошлом. В 1650 году архиепископ Ашер из г. Арма (Ирландия) вычислил, что Бог сотворил мир в октябре 4004 г. до н.э. и закончил свой труд 23 октября в 9 часов утра, создав человека. Ашер получил эту дату, сложив возраст всех людей, упоминающихся в библейской генеалогии от Адама до Христа («кто кого родил»).

Процесс божественного сотворения мира мыслится как имевший место лишь единожды и поэтому недоступный для наблюдения. А наука занимается только теми явлениями, которые поддаются наблюдению, а поэтому она никогда не будет в состоянии ни доказать, ни отвергнуть эту концепцию.



Рис. 11.1. Уровни организации материи

2. Гипотеза самопроизвольного зарождения жизни. С античных времен и до середины XVII в. ученые не сомневались в возможности самопроизвольного зарождения жизни. Считалось, что живые существа могут появляться из неживой материи, например, рыбы — из ила, черви — из почвы, мыши — из тряпок, мухи — из гнилого мяса, а также, что одни формы могут порождать другие, например из плодов могут образовываться птицы и животные.

Теории происхождения жизни

Название	Авторы и последователи	Основные положения
Библейская теория, или креационизм	Библия Креационисты (К. Линней, Ж. Кювье, Ч. Лайель) Некреационисты	Жизнь создал Творец (Бог).
Теория самозарождения жизни, или абиогенез	Древние философы (Аристотель и др.), Г. Лейбниц, Ж. Бюффон, Дж. Нидхем	Живое самопроизвольно происходит из неживого
Теория стационарного состояния	—	Земля и жизнь существовали вечно. Виды лишь изменяются по численности и вымирают
Космогенная теория (гипотеза панспермии)	Г. Рихтер, С. Арпенюс	Космическая биология, экзобиология (поиск жизни вне Земли). Жизнь на Земле имеет космическое происхождение
Теория биопоза	Дж. Бернал, А.И. Опарин, Дж. Холдейн	Возникновение в процессе эволюции Земли живого из неживого при определенных благоприятных условиях

Так, великий Аристотель, изучая угрей, установил, что среди них не встречаются особи с икрой или молоками. На основании этого он предположил, что угри рождаются из «колбасок» ила, образующихся от трения взрослой рыбы о дно.

Первый удар по представлениям о самозарождении нанесли эксперименты итальянского ученого Франческо Реди, который в 1668 г. доказал невозможность самозарождения мух в гниющем мясе.

Несмотря на это, идеи самозарождения жизни сохранялись до середины XIX в. Только в 1862 г. французский ученый Луи Пастер окончательно опроверг гипотезу самозарождения жизни. Работы Л. Пастера позволили утверждать, что принцип «Все живое — из живого» справедлив для всех известных организмов на нашей планете, но они не разрешали вопроса о происхождении жизни.

3. Гипотеза стационарного состояния. Согласно этой гипотезе, жизнь, как и сама Вселенная, существует вечно, не имея начала и конца. Вместе с тем, отдельные тела и образования — галактики, звезды, планеты, организмы — возникают, рождаются и погибают, т.е. их существование во времени ограничено.

4. Гипотеза панспермии. Доказанность невозможности самозарождения жизни породила другую проблему. Если для возникновения живого организма необходим другой живой организм, то откуда взялся первый живой организм? Это дало толчок к возникновению гипотезы панспермии, которая имела и имеет много сторонников, в том числе и среди видных ученых. Они считают, что впервые жизнь возникла не на Земле, а была занесена каким-то образом на нашу планету. Так как:

- это соответствие общего элементарного состава комет содержанию живой материи;
- кометы содержат воду и органические вещества, являющиеся превосходной питательной средой для некоторых видов микроорганизмов;
- исследования комет показали, что в них неопределенно долго могут сохраняться почти все формы микроорганизмов, известных в настоящее время на Земле;
- наша планета ежегодно получает более 10^{18} спор как остаток кометного материала, рассеянного в Солнечной системе.

Однако гипотеза панспермии пытается лишь объяснить появление жизни на Земле. Она не отвечает на вопрос, как возникла жизнь.

Отрицание факта самозарождения жизни в настоящее время не противоречит представлениям о принципиальной возможности развития жизни в прошлом из неорганической материи.

5. Гипотеза биохимической эволюции. В 20-е годы XX в. русский ученый А.И. Опарин и англичанин Дж. Холдейн высказали гипотезу о возникновении жизни в процессе биохимической эволюции углеродных соединений, которая и легла в основу современных представлений.

В 1924 году А.И. Опарин опубликовал основные положения своей гипотезы происхождения жизни на Земле. Он исходил из того, что в современных условиях возникновение живых существ из неживой природы невозможно. *Абиогенное* (т.е. без участия живых организмов) возникновение живой материи возможно было только в условиях древней атмосферы и отсутствия живых организмов.

Считается, что этому событию благоприятствовали следующие условия:

- первоначальное отсутствие жизни до момента ее возникновения (теперь, когда жизнь на Земле уже существует, она не может возникнуть на ней вновь, по крайней мере таким же образом, как появилась ранее);

- единая химическая основа — жизнь развивается на этой основе, отражающей количественные и качественные особенности отдельных химических элементов;
- определенная масса планеты (если бы она была больше, чем $\frac{1}{20}$ массы Солнца, на ней бы начали протекать интенсивные ядерные реакции, что повысило бы ее температуру; если бы Земля, напротив, обладала слишком малой массой, то из-за слабого гравитационного поля она не смогла бы удержать атмосферу);
- наличие в атмосфере соединений, обладающих восстановительными свойствами;
- наличие воды, свойства которой играют огромное значение для всего живого;
- совокупность физических факторов — относительно высокой температуры, мощных электрических разрядов, высокого уровня ультрафиолетового излучения.

Согласно гипотезе А.И. Опарина в процессе становления жизни можно выделить четыре этапа:

- 1) синтез низкомолекулярных органических соединений из газов первичной атмосферы;
- 2) полимеризация мономеров с образованием цепей белков и нуклеиновых кислот;
- 3) образование фазовообособленных систем органических веществ, отделенных от внешней среды мембранами;
- 4) возникновение простейших клеток, обладающих свойствами живого, в том числе репродуктивным аппаратом, осуществляющим передачу дочерним клеткам всех химических и метаболических свойств родительских клеток.

Первые три этапа относят к периоду химической эволюции, с четвертого начинается биологическая эволюция.

Контрольные вопросы и задания

1. Приведите определение понятия «жизнь» с биологической точки зрения.
2. Охарактеризуйте основные свойства живых объектов.
3. Назовите и охарактеризуйте уровни организации живой материи.
4. Почему живые организмы называются открытыми системами?
5. Какова роль изменчивости и наследственности в развитии жизни на нашей планете?

6. Почему представление о божественном происхождении жизни нельзя ни подтвердить, ни опровергнуть?
7. Каковы основные положения гипотезы А.И. Опарина?
8. Дайте характеристику гипотезе панспермии.
9. Что такое абиогенез?
10. Чем принципиально отличаются процессы обмена у живых организмов и в неживой природе?

11.2. Строение клетки

11.2.1. Клеточная теория

Изучение клетки связано с открытием и использованием микроскопа и улучшением техники микроскопирования. В 1665 году английский физик Р. Гук на тонком срезе пробки рассмотрел крошечные «ячейки», которые он назвал клетками. Позже Н. Грю, М. Мальпиги (1671), изучая анатомию растений, также обнаружили мельчайшие «ячейки», «пузырьки» или «мешочки». В этот период главной частью клетки считалась ее стенка, и лишь спустя двести лет стало ясно, что главное в клетке не стенка, а внутреннее содержимое.

Впервые под микроскопом некоторые клетки животных организмов рассмотрел А. Левенгук (1674). Однако уровень знаний о клетке, достигнутый в XVII в., существенно не изменился до начала XIX в. В дальнейшем по мере усовершенствования микроскопа и техники микроскопирования накапливались и сведения о клетках животных и растений. На их основе складывались представления о клеточной организации всего органического мира.

Опираясь на эти данные и собственные исследования, немецкий ботаник М. Шлейден (1837) сделал важный вывод о клеточной организации растений. Зоолог Т. Шванн на основе исследований зоологических объектов и данных его предшественников утвердил важнейшее достижение теоретической биологии: клетка является элементарной единицей строения и развития всех растительных и животных организмов (1839). В последующий период **клеточная теория** обогатилась новым содержанием. Ее **основные положения** можно сформулировать так:

- 1) клетка представляет собой основу структурной и функциональной организации растений и животных;
- 2) клетки растений и животных сходны по строению и развиваются аналогично (путем деления исходной клетки);

- 3) клетки у всех организмов имеют мембранное строение;
- 4) ядро клетки представляет ее главный регуляторный органоид;
- 5) клеточное строение живых организмов — свидетельство единства их происхождения.

Клеточная теория, будучи важнейшим достижением естествознания, обосновав единство клеточной организации и общность происхождения растений и животных, сыграла огромную роль в развитии всех разделов биологии, особенно гистологии, эмбриологии, физиологии клетки, эволюционного учения, генетики. На ее основе сложилось и развивалось учение о болезненных процессах у животных, растений и человека. Открытие клетки и создание клеточной теории помогло объяснить основные закономерности живой природы с материалистических позиций.

11.2.2. Строение эукариотической клетки. Органоиды клетки

Среди живых организмов только вирусы не имеют клеточного строения. Все остальные организмы представлены клеточными формами жизни. Различают два типа клеточной организации: прокариотический и эукариотический. К прокариотам относятся бактерии и синезеленые, к эукариотам — растения, грибы и животные.

Прокариотические клетки устроены сравнительно просто. Они не имеют ядра, область расположения ДНК в цитоплазме называется *нуклеоид*, единственная молекула ДНК кольцевая и не связана с белками, клетки меньше эукариотических, в состав клеточной стенки входит гликопептид — муреин, мембранные органоиды отсутствуют, их функции выполняют впячивания плазматической мембраны, рибосомы мелкие, микротрубочки отсутствуют, поэтому цитоплазма неподвижна, а реснички и жгутики имеют особую структуру.

Эукариотические клетки имеют ядро, в котором находятся *хромосомы* — линейные молекулы ДНК, связанные с белками, в цитоплазме расположены различные мембранные органоиды.

Растительные клетки отличаются наличием толстой целлюлозной клеточной стенки, пластид, крупной центральной вакуоли, смешивающей ядро к периферии. Клеточный центр высших растений не содержит центриоли. Запасным углеводом является крахмал.

Клетки грибов имеют клеточную стенку, содержащую хитин, в цитоплазме имеется центральная вакуоль, отсутствуют пластиды. Только у некоторых грибов в клеточном центре встречается центриоль. Главным резервным углеводом является гликоген.

Животные клетки не имеют клеточной стенки, не содержат пластид и центральной вакуоли, для клеточного центра характерна центриоль. Запасным углеводом является гликоген.

В зависимости от количества клеток, из которых состоят организмы, их делят на одноклеточные и многоклеточные. **Одноклеточные организмы** состоят из одной-единственной клетки, выполняющей функции целостного организма. Одноклеточными являются все прокариоты, а также простейшие, некоторые зеленые водоросли и грибы. Тело **многоклеточных организмов** состоит из множества клеток, объединенных в ткани, органы и системы органов.

Клетки в составе многоклеточного организма различаются по размерам, форме, структуре и выполняемым функциям (рис. 11.2).

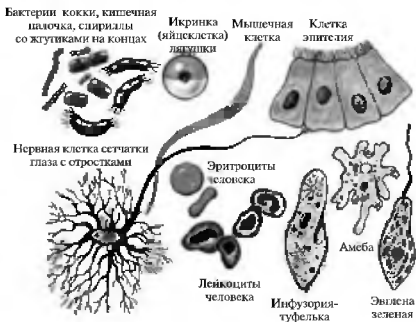


Рис. 11.2. Различные формы клеток одноклеточных и многоклеточных организмов

Продолжительность жизни клеток многоклеточного организма неодинаковая.

В процессе эволюции в связи с неодинаковыми условиями существования клеток представителей различных царств животных существ, возникло множество отличий (рис. 11.3 и 11.4).

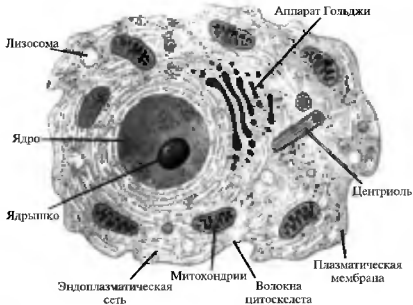


Рис. 11.3. Животная клетка

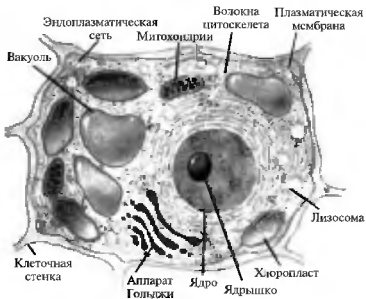


Рис. 11.4. Растительная клетка

Главное отличие между клетками этих двух царств заключается в способе их питания.

Клетка имеет следующее строение.

1. Клеточная мембрана

Оболочка клеток имеет сложное строение. Она состоит из наружного слоя и расположенной под ним плазматической мембраны.

Она выполняет следующие функции:

барьерную — мембрана отделяет клеточное содержимое от внешней среды, предохраняет клетку от попадания в нее чужеродных веществ и обеспечивает поддержание постоянства внутриклеточной среды;

транспортную — прохождение веществ через мембрану без затраты энергии (пассивный транспорт: диффузия и облегченная диффузия) и с затратой энергии (активный транспорт, например, натрий-калиевый насос, эндоцитоз, экзоцитоз);

рецепторную — на наружной поверхности мембраны расположены рецепторные участки, где происходит связывание гормонов и других регуляторных молекул.

Для переноса воды и различных ионов в клеточной мембране существуют поры, через которые в клетку пассивно поступают вода и некоторые ионы. Кроме того, существует активный перенос веществ в клетку с помощью специальных белков, входящих в состав плазматической мембраны. Он осуществляется также на основе процессов фагоцитоза и пиноцитоза.

Захват плазматической мембраной твердых частиц и впячивание (втягивание) их внутрь клетки называют *фагоцитозом* (от греч. «фагос» — пожирать и «цитос» — клетка). Это явление можно наблюдать, например, при захвате амёбой более мелких одноклеточных или при захвате бактерий, проникших в организм животного или человека, лейкоцитами крови (рис. 11.5).



Рис. 11.5. Фагоцитоз у амёбы

Сходным образом попадают в клетку растворимые в жидкости мелкие частицы или молекулы. Плазматическая мембрана образует выгнутость в виде тонкого каналца, в который и попадает жидкость с рас-

творимыми в ней веществами. От канальца затем отпочковываются пузырьки. Этот способ называют *пиноцитозом* (от греч. «пино» — пью и «цитос» — клетка), он наиболее универсальный, поскольку присущ клеткам растений, животных и грибов (рис. 11.6).



Рис. 11.6. Пиноцитоз

2. Цитоплазма

Цитоплазма — (греч. *kytos (cytos)* — сосуд, вместилище, клетка и *plasma* — образование) — содержимое клетки, заполняющее пространство внутри клеточной мембраны (за исключением ядра); состоит из относительно гомогенной части — гиалоплазмы, представляющей собой коллоидный раствор, и находящихся в ней обязательных клеточных компонентов (органойдов) и непостоянных структур (включений).

Она характеризуется следующими **функциями**:

транспортной — цитоплазма осуществляет связи между ядром и органондами клетки;

средообразующей — жидкая часть цитоплазмы (гиалоплазма) является средой для протекания многих процессов обмена веществ в клетке (кроме синтеза нуклеиновых кислот).

3. Эндоплазматическая сеть

Эндоплазматическая сеть (греч. *endon* — внутри и *plasma* — образование) (ЭПС), или эндоплазматический ретикулум (лат. *reticulum* — сеточка) (ЭПР) — это универсальный для всех эукариотических клеток одномембранный органойд, представляющий собой систему полостей, каналов, трубочек и образующий внутри клетки мембранную сеть, объединенную в единое с наружной мембраной ядерной оболочки (рис. 11.7).

Мембрана ЭПС имеет типичное жидкостно- мозаичное строение. Площадь мембраны ЭПС составляет около половины площади всех мембран клетки, а объем содержимого ЭПС — более 10% объема цитоплазмы. Морфологически ЭПС дифференцирована на шероховатую и гладкую ЭПС, которые выполняют разные функции.

ЭПС выполняет следующие **функции**:

синтез белков, липидов и углеводов. На мембранах гладкой ЭПС синтезируются липиды и углеводы; рибосомы шероховатой ЭПС синтезируют полипептиды;

модификация синтезированных молекул. На полостях ЭПС синтезированные молекулы подвергаются модификации, при этом из полипептидных цепочек формируются специфические для данной клетки белки, также образуются гликопротеиды и липопротеиды;

транспорт синтезированных молекул. Продукты синтеза ЭПС по ее каналам и трубочкам поступают в разные части клетки;

защита от токсинов. Гладкая часть ЭПС принимает участие в защите клетки от токсических веществ

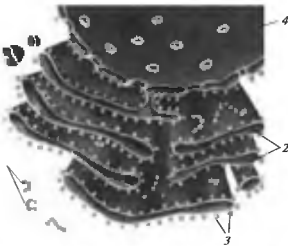


Рис. 11.7. Схема строения эндоплазматической сети: 1 — свободные рибосомы, 2 — полости, 3 — рибосомы, прикрепленные к мембранам; 4 — ядерная оболочка

4. Рибосома

Рибосомы обнаружены в клетках всех организмов. Это микроскопические тельца округлой формы диаметром 15—20 нм. Каждая рибосома состоит из двух неодинаковых по размерам частиц — малой и большой.

В одной клетке содержится много рибосом, они располагаются либо на мембранах гранулярной эндоплазматической сети, либо свободно лежат в цитоплазме. В состав рибосом входят белки и РНК.

Функция рибосом — это синтез белка, который осуществляется не одной рибосомой, а целой группой, включающей до нескольких десятков объединенных рибосом. Такую группу рибосом называют *полисомой*.

5. Комплекс Гольджи

Часть образующихся в клетке белков, углеводов и липидов по каналам ЭПС поступает в специализированную органеллу, называемую *аппаратом Гольджи*.

Аппарат Гольджи состоит из уплощенных цистерн, уложенных в стопку, в которых происходит сортировка и упаковка поступивших макромолекул (рис. 11.8). Вещества, необходимые клетке для внутреннего потребления, накапливаются в мелких мембранных пузырьках (50 нм), отпочковывающихся от полостей аппарата Гольджи, и разносятся по цитоплазме. Вещества, произведенные клеткой «на экспорт», получают в аппарате Гольджи «удостоверение» в виде присоединенных к ним полисахаридов и в таком виде выводятся из клетки.



Рис. 11.8. Схема строения комплекса Гольджи

Функции комплекса Гольджи:

химическая модификация веществ. Исходным субстратом для химической модификации являются вещества, поступающие в из ЭПС. Ферменты мембран аппарата Гольджи осуществляют различные химические реакции, в результате которых образуются вещества, необходимые клетке;

транспорт веществ. Аппарат Гольджи принимает участие в транспорте липидов. При переваривании липиды расщепляются и всасываются в тонкой кишке в виде жирных кислот и глицерина. В гладкой ЭПС клеток кишечной ворсинки липиды ресинтезируются. Они покрываются белковой оболочкой и через аппарат Гольджи транспортируются к плазматической мембране, через которую путем экзоцитоза покидают клетку и поступают в лимфатическую систему;

формирование лизосом. В цистернах аппарата Гольджи происходит созревание ферментов лизосом, их сортировка и упаковка в мембранные оболочки.

6. Лизосомы

Лизосомы (лат. *lysis* — расщепление и *soma* — тело) — органоиды сферической формы, окруженные мембраной и заполненные матриксом. В матриксе лизосом содержатся ферменты, которые могут разрушать белки, нуклеиновые кислоты, сахара, липиды и другие соединения. Число ферментов в лизосомах настолько велико, что при освобождении они способны разрушать всю клетку.

Функции лизосом:

переваривание материалов, поглощенных путем эндоцитоза. Первичные лизосомы могут сливаться с пузырьками или вакуолями, образовавшимися в процессе эндоцитоза. При этом образуются вторичные лизосомы, в которых происходит переваривание материалов, поступивших в клетку путем эндоцитоза. Вторичную лизосому называют также пищеварительной вакуолью;

выделение ферментов из клетки посредством экзоцитоза. Ферменты, содержащиеся в первичных лизосомах, могут выделяться из клеток наружу. Это происходит, например, в процессе развития костной ткани, когда хрящ заменяется костной тканью. Клетки пищеварительных желез выделяют таким образом, образовавшиеся в цистернах аппарата Гольджи, в кишечную полость;

автофагии. Автофагия (греч. *autos* — сам и *phagos* — пожиратель) — это процесс уничтожения клеткой ненужных ей структур. Сначала такие структуры окружаются мембраной, отделяющейся от ЭПС, затем этот мембранный мешочек, сливается с первичной лизосомой. В результате этого образуется вторичная лизосома, в которой происходит переваривание. Автофагия — завершение жизненного цикла органоидов, более не способных выполнять свои функции;

автолиз. Саморазрушение клетки, наступающее в результате высвобождения содержимого ее лизосом. В результате автолиза клеток, например, происходит перестановка органов (хвоста) у головастика при превращении его в лягушку. Иногда автолиз является следствием повреждения или гибели клетки.

7. Митохондрии

Митохондрии имеют различную форму — сферических, овальных и цилиндрических телец (рис. 11.9), могут быть нитевидной формы. Размеры их составляют от 0,2 до 1 мкм в диаметре и до 7 мкм в длину. Длина нитевидных форм достигает 15—20 мкм. Количество митохон-

дрий в разных тканях неодинаково и зависит от функциональной активности клетки: их больше там, где интенсивнее синтетические процессы (печень) или велики затраты энергии. Так, митохондрий больше в грудной мышце хорошо летающих птиц, чем у нелетающих. Число митохондрий может быстро увеличиваться путем деления, что обусловлено наличием молекулы ДНК в их составе.



Рис. 11.9. Схема строения митохондрии по данным электронного микроскопа

Стенка митохондрии состоит из двух мембран — наружной и внутренней. Наружная — гладкая, а от внутренней в глубь органоида отходят перегородки, или кристы (от лат. *crista* — гребень). На мембранах крист располагаются многочисленные ферменты, участвующие в энергетическом обмене. Количество гребней, определяющее площадь поверхности мембраны, занятую прикрепленными к ней ферментами, зависит от функции клеток. В митохондриях мышц гребней очень много, они занимают всю полость органоида. В клетках зародыша кристы единичны. Основная функция митохондрий состоит в выработке энергии в форме АТФ, поэтому их еще называют «энергетическими станциями клетки».

8. Пластиды

Пластиды (греч. *plastids* — создающие, образующие; от греч. *plastos* — вылепленный) — двумембранные органеллы растительных клеток.

По окраске и выполняемой функции выделяют три основных типа пластид:

- 1) **хлоропласты** (греч. *chloros* — зеленый и *plastos* — вылепленный) — пластиды, имеющие зеленую окраску, поскольку они несут пигменты зеленого цвета — *хлорофиллы*. В хлорофиллах осуществляются процессы фотосинтеза;

- 2) *лейкопласты* (греч. *leukos* — белый и *plastos* — вылепленный) — неокрашенные пластиды; как правило, выполняют функцию запасания питательных веществ. Например, в лейкопластах клубней картофеля накапливается крахмал;
- 3) *хромопласты* (греч. *chroma* — цвет, краска и *plastos* — вылепленный) — пластиды, окрашенные в желтый, оранжевый или красный цвет. Окраска хромопластов связана с накоплением в них особых пигментов — *каротиноидов*. Хромопласты определяют окраску венчиков цветов, корнеплодов, осенних листьев и созревших плодов.

Пластиды развиваются из *пропластид* — относительно мелких бесцветных или бледно-зеленых органоидов. Пластиды обладают собственным генетическим аппаратом, представляющим собой кольцевые молекулы ДНК. Имеются *гипотезы симбиотического происхождения* пластид в клетках эукариот.

9. Клеточный центр

Клеточный центр — немембранный органоид, постоянная структура животных клеток. Отсутствует в клетках растений.

Клеточный центр состоит из двух центриолей. При образовании митотического веретена деления центриолы расходятся к полюсам клетки, обеспечивая равномерное распределение хромосом между дочерними клетками.

После деления клетки каждая из вновь образовавшихся клеток получает пару центриолей: перед началом деления клетки происходит удвоение центриолей (от каждой центриолы отпочковывается новая центриоль) и центриолы расходятся к полюсам. В результате образуются два клеточных центра — по одному на каждую вновь образовавшуюся клетку, при этом каждый клеточный центр состоит из двух центриолей (рис. 11.10).



Рис. 11.10. Клеточный центр в развивающейся половой клетке саламандры

10. Вакуоль

Вакуоль (франц. *vacuole* — пустота, от лат. *vacuus* — пустой) является обязательной принадлежностью растительной клетки. Она представляет собой крупный мембранный пузырек, заполненный клеточным соком, состав которого отличается от окружающей цитоплазмы. Вакуоль накапливает запасные питательные вещества и регулирует водно-солевой обмен, контролируя поступление воды в клетку и из клетки.

11. Ядро

Ядро (лат. *nucleus*, греч. *karion*) — важнейшая составляющая часть эукариотической клетки. Ядро имеет шаровидную или овальную форму. В состав ядра входят: ядерная оболочка, карноплазма (ядерный сок), хроматин (хромосомы) и ядрышки (рис. 11.11).

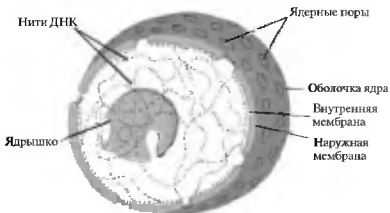


Рис. 11.11. Строение ядра

Ядерная оболочка образована двумя мембранами (наружной и внутренней). Отверстия в ядерной оболочке называются *ядерными порами*. Через них осуществляется обмен веществом между ядром и цитоплазмой.

Карноплазма (ядерный сок) — внутреннее содержимое ядра.

Хроматин — неспирализованная молекула ДНК, связанная с белками. В каком виде ДНК присутствует в неделящихся клетках. При этом возможно удвоение ДНК (репликация) и реализация заключенной в ДНК информации. **Хромосома** — спирализованная молекула ДНК, связанная с белками. ДНК спирализуется перед делением клетки для более точного распределения генетического материала при делении. На стадии метафазы каждая хромосома состоит из двух *хроматид*, являющихся результатом удвоения ДНК. Хроматиды соединяются меж-

ду собой в области первичной перетяжки, или *центромеры*. Центромера делит хромосому на два плеча.

Ядро выполняет две основные функции:

- 1) хранение и воспроизводство генетической информации;
- 2) регуляции процессов обмена веществ, происходящих в клетке, обеспечивая ее нормальную жизнедеятельность.

В ядре находится более 90% ДНК всей клетки.

12. Клеточные включения

В цитоплазме клеток присутствуют включения — непостоянные компоненты. Они выполняют трофическую функцию, например, запасая питательные вещества в виде капель жира, глыбок гликогена; секреторную, подготавливая различные биологически активные вещества к выведению из клетки; пигментную, окрашивая некоторые ткани и органы. Например, в организме могут присутствовать некоторые пигменты (гемоглобин, липофуцин) и др. включения синтезируются в клетке и используются в процессе обмена (рис. 11.12).



Рис. 11.12. Клеточные включения

11.2.3. Неклеточные формы жизни — вирусы

Неклеточные формы жизни представлены вирусами. Последние были открыты в 1892 г. русским ученым Д.И. Ивановским. Он выделил их из растений табака, пораженных мозаичной болезнью. Термин «вирус» предложил ввести в 1899 г. нидерландский ботаник и микробиолог М. Бейеринк.

Вирусы — это внутриклеточные паразиты на генетическом уровне, которые распространены повсеместно в природе. Они способны вызывать заболевания растений, животных и человека. К вирусным заболеваниям человека относятся грипп, оспа, краснуха, гепатит, корь, СПИД, таежный энцефалит и др.

Вирусы имеют размеры от 20 до 300 нм; наблюдать их можно только с помощью электронного микроскопа. Они могут быть простыми и сложными. Простые вирусы состоят из расположенного в центре носителя генетической информации (ДНК или РНК) и белковой оболочки, называемой *капсидом*.

От неживой материи вирусы отделяет наличие двух свойств:

- 1) способности воспроизводить себе подобные формы (репродуцироваться);
- 2) наследственности и изменчивости.

В то же время вирусы обладают рядом особенностей, отличающих их от остальных живых организмов.

- Они не имеют клеточного строения — не имеют липидной бислойной мембраны, отделяющей содержимое организма от среды.
- По сути, вирусы являются облигатными паразитами, функционирующими на генетическом уровне. При этом вне клетки хозяина они находятся в «неживом» состоянии, «ожидая» момента внедрения в клетку.
- К этим организмам неприменимо понятие обмена веществ — метаболизма.
- Вирусы не увеличиваются в размерах (не растут).
- Вирусы не способны ни к делению, ни к половому размножению.
- Стратегия жизни — безудержное размножение.

Находясь в клетке-хозяине, вирус представляет собой молекулу нуклеиновой кислоты. В свободном же состоянии находится в форме *вириона*.

Вирион (свободная форма) состоит из молекулы нуклеиновой кислоты и окружающей ее оболочки (капсида), которая образована из большого числа белковых молекул.

Вирусы имеют особый способ размножения (рис. 11.13).

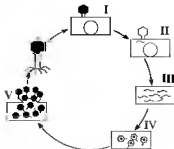


Рис. 11.13. Размножение вирусов

I — стадия адсорбции (прикрепления) вируса к поверхности клетки, II — стадия инъекции (введения) нуклеиновой кислоты вируса или всей вирусной частицы в клетку, III — стадия синтеза копий вирусной нуклеиновой кислоты, IV — стадия синтеза белковых вирусных оболочек и сборки вирусных частиц, V — стадия лизиса (разрушения) клетки и выхода вирусных частиц в окружающую среду

В зависимости от длительности пребывания вируса в клетке и характера изменения ее функционирования различают *три типа вирусной инфекции*:

- 1) если образующиеся вирусы одновременно покидают клетку, то она разрывается и гибнет. Вышедшие из нее вирусы поражают новые клетки. Так развивается *литическая* инфекция (греч. *lysis* — разрушение, растворение);
- 2) при вирусной инфекции другого типа, называемой *персистентной* (стойкой), новые вирусы покидают клетку-хозяина постепенно. Клетка продолжает жить и делиться, производя новые вирусы, хотя ее функционирование может изменяться;
- 3) третий тип инфекции называется *латентным* (скрытым). Генетический материал вируса встраивается в хромосомы клетки и при ее делении воспроизводится и передается дочерним клеткам. При определенных условиях в некоторых из зараженных клеток латентный вирус активизируется, размножается, и его потомки покидают клетки.

Инфекция развивается по литическому или персистентному типу.

Контрольные вопросы и задания

1. Сформулируйте основные положения клеточной теории.
2. Охарактеризуйте сходства и отличия прокариотической и эукариотической клеток.
3. В чем особенности строения клеток растений, животных и грибов?
4. Какие основные функции выполняет клеточная мембрана?
5. Дайте характеристику фагоцитозу и пиноцитозу.
6. Какова функция ядра в клетке?
7. Какой процесс осуществляется в рибосомах?
8. Какое строение имеют вирусы?
9. В чем отличие вирусов от других живых организмов?
10. Как вирусы размножаются?

11.3. Обмен веществ и превращение энергии

11.3.1. Понятие о метаболизме

Основу жизнедеятельности всех живых существ составляет процесс обмена веществ — метаболизм.

Обмен веществ — это совокупность химических превращений веществ, которые протекают в клетках в тесном взаимодействии с окружающей средой.

Выделяют две составные части метаболизма — процесс конструктивного обмена (питание) и энергетического обмена (дыхание).

Процесс **питания** организма (или **ассимиляция**, или **анаболизм**) состоит из поступления и усвоения пищи и представляет собой совокупность химических реакций синтеза сложных веществ из более простых (образование углеводов из углекислого газа и воды в процессе фотосинтеза, реакции матричного синтеза). Для протекания анаболических реакций требуются затраты энергии. Этот процесс преобладает в период роста.

Катаболизм (или **энергетический обмен**, или **диссимиляция**) — совокупность химических реакций, приводящих к образованию простых веществ из более сложных (гидролиз полимеров до мономеров и расщепление последних до низкомолекулярных соединений углекислого газа, воды, аммиака и др. веществ). Катаболические реакции идут обычно с высвобождением энергии. Этот процесс начинает преобладать у организмов к старости.

Оба эти прямо противоположных процесса находятся в тесной взаимосвязи и взаимозависимости. Они неотделимы один от другого, обуславливают рост, развитие и размножение организма. Конечные продукты обмена веществ выделяются во внешнюю среду. Значительное накопление их в среде неблагоприятно для организма.

11.3.2. Типы питания живых организмов

Способы питания. Организмы, обитающие на Земле, представляют собой *открытые системы*, т.е. они непрерывно обмениваются энергией и веществом с окружающей средой. Энергия необходима каждой клетке, чтобы осуществлять многочисленные реакции превращения веществ и синтеза тех продуктов, которые клетка использует для своего пластического обмена: построения органоидов, деления, накопления питательных веществ и т.п. Иными словами, энергия необходима клетке для процессов ассимиляции. Однако для «клеточного строительства» необходима не только энергия, но и «стройматериалы», поэтому значительная часть веществ, получаемых клеткой извне, используется не для получения энергии, а для построения и восстановления клеточных структур.

Питанием называют совокупность процессов, включающих поступление в организм, переваривание, всасывание и усвоение им пище-

вых веществ. В процессе питания организмы получают химические соединения, используемые ими для всех процессов жизнедеятельности. По способу получения органических веществ, т.е. по способу питания, все живые организмы делятся на автотрофов и гетеротрофов.

Автотрофы (автотрофные организмы) — организмы, использующие в качестве источника углерода углекислый газ (растения и некоторые бактерии). Иначе говоря, это организмы, способные создавать органические вещества из неорганических — углекислого газа, воды, минеральных солей. В зависимости от источника энергии автотрофы подразделяются на фотоавтотрофы и хемоавтотрофы. **Фототрофы** — организмы, использующие для биосинтеза световую энергию (растения, цианобактерии). **Хемотрофы** — организмы, использующие для биосинтеза энергию химических реакций окисления неорганических соединений (хемотрофные бактерии: водородные, нитрифицирующие, железобактерии, серобактерии и др.).

Гетеротрофы (гетеротрофные организмы) — организмы, использующие в качестве источника углерода органические соединения (животные, грибы и большинство бактерий).

По способу получения пищи гетеротрофы делятся на фаготрофов (голозоев) и осмотрофов. **Фаготрофы** (*голозои*) заглатывают твердые куски пищи (животные), **осмотрофы** поглощают органические вещества из растворов непосредственно через клеточные стенки (грибы, большинство бактерий).

По состоянию источника пищи гетеротрофы подразделяются на биотрофы и сапротрофы. **Биотрофы** питаются живыми организмами. К ним относятся *зоофаги* (питаются животными) и *фитофаги* (питаются растениями), в том числе *паразиты*.

Сапротрофы используют в качестве пищи органические вещества мертвых тел или выделения (экскременты) животных. К ним принадлежат сапротрофные бактерии, сапротрофные грибы, сапротрофные растения (*сапрофиты*), сапротрофные животные (*сапрофаги*). Среди них встречаются *детритофаги* (питаются детритом), *некрофаги* (питаются трупами животных), *копрофаги* (питаются экскрементами) и др.

Некоторые живые существа в зависимости от условий обитания способны и к автотрофному, и к гетеротрофному питанию. Организмы со смешанным типом питания называются миксотрофами.

Миксотрофы — организмы, которые могут как синтезировать органические вещества из неорганических, так и питаться готовыми органическими соединениями (насекомоядные растения, представители отдела эвгленовых водорослей и др.).

11.3.3. Пластический обмен

Пластический обмен — это совокупность реакций синтеза в клетке высокомолекулярных органических и неорганических соединений, сопровождаемых затратой энергии. Пластический обмен имеет следующее значение:

- обеспечение строительным материалом растущие и делящиеся клетки;
- замена разрушенных химических веществ и структурных компонентов клетки;
- накопление в клетке энергетического материала.

В основе пластического обмена лежит процесс фотосинтеза.

Фотосинтез — это процесс образования органических веществ при участии энергии света в клетках зеленых растений. Он характеризуется двумя фазами (табл. 11.3).

Таблица 11.3

Фазы фотосинтеза	
Фазы фотосинтеза и локализация их в клетке	Процессы, протекающие в каждой фазе
Световая фаза , осуществляется в тилакоидах гран	Кванты света — фотоны взаимодействуют с молекулами хлорофилла, которые переходят в более богатое энергией «возбужденное» состояние. Энергия возбужденных молекул воздействует на диссоциированные частички воды; происходит фотолит — разложение воды под влиянием света, в результате которого выделяется молекулярный кислород. Энергия света способствует переходу АДФ в АТФ
Темновая фаза , осуществляется в строме хлоропластов	Ключевое место занимает связывание CO_2 . Участвуют молекулы АТФ, синтезированные во время световой фазы, и атомы Н, образовавшиеся в процессе фотолитиза воды и связанные с молекулами-переносчиками. Углекислый газ присоединяется к существующим в клетке молекулам пентозы, которые функционируют в цикле Кальвина, — образуются углеводы

Значение фотосинтеза:

- образование в биосфере свободной энергии в виде первичного органического вещества, созданного растениями (ежегодно 150 млрд т), обеспечивающего существование самих растений и гетеротрофных организмов (по мнению К.А. Тимирязева, растения, способные усваивать солнечную энергию, играют космическую роль);

- выделение в атмосферу кислорода (ежегодно до 200 млрд т), обеспечивающего клеточное дыхание самих растений и других организмов. Кислород необходим также для образования озона ($3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{O}_3$), образующего озоновый экран, служащий защитой от коротковолнового УФ-излучения;
- получение продовольствия для человека и кормов сельскохозяйственным животным;
- запасание энергии в виде различных видов топлива (древесина, уголь, торф).

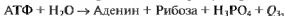
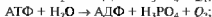
11.3.4. Энергетический обмен

Энергетический обмен — это совокупность реакций распада в клетке высокомолекулярных органических соединений на низкомолекулярные органические и неорганические соединения, сопровождающихся выделением энергии. Энергетический обмен имеет следующее значение:

- 1) использование энергии расщепления и окисления для синтеза АТФ;
- 2) передача энергии в виде АТФ в различные части клетки;
- 3) образование промежуточных продуктов (метаболитов) реакций расщепления, и используемых клеткой в обмене веществ;
- 4) побуждение реакций синтеза в клетке новых соединений при израсходовании их запасов.

Универсальным источником энергии во всех клетках служит АТФ.

АТФ (аденозинтрифосфорная кислота) — мононуклеотид, состоящий из аденина, рибозы и трех остатков фосфорной кислоты, соединяющихся между собой макроэргическими связями. В этих связях запасана энергия, которая высвобождается при их разрыве:



где АТФ — аденозинтрифосфорная кислота, АДФ — аденозиндифосфорная кислота; АМФ — аденозинмонофосфорная кислота; $Q_1 = Q_2 = 30,6$ кДж; $Q_3 = 13,8$ кДж.

Запас АТФ в клетке ограничен и пополняется благодаря процессу **фосфорилирования**, т.е. присоединения остатка фосфорной кислоты к АДФ ($\text{АДФ} + \text{P} \rightarrow \text{АТФ}$). Он происходит с разной интенсивностью при дыхании, брожении и фотосинтезе. АТФ обновляется чрезвы-

чайно быстро (у человека продолжительность жизни одной молекулы АТФ менее 1 мин.).

Энергия, накопленная в молекулах АТФ, используется организмом в анаболических реакциях (реакциях биосинтеза). Молекула АТФ является универсальным хранителем энергии для всех живых существ.

Этапы энергетического обмена. Большинство живых существ, обитающих на Земле, относятся к *аэробам*, т.е. используют в процессах обмена веществ кислород из окружающей среды. У аэробов энергетический обмен происходит в три этапа: *подготовительном, бескислородном и кислородном*. В результате этого органические вещества распадаются до простейших неорганических соединений. У организмов, обитающих в бескислородной среде и не нуждающихся в кислороде, — *анаэробов*, а также при недостатке кислорода диссимилиация происходит в два этапа: *подготовительном и бескислородном*. В двухэтапном варианте энергетического обмена энергии запасается гораздо меньше, чем в трехэтапном.

Рассмотрим подробнее три этапа энергетического обмена (табл. 11.4).

Таблица 11.4

Этапы энергетического обмена

Этап, локализация в клетке	Особенности протекания этапов	Энергетическая ценность
I. Подготовительный в органах пищеварения	Молекулы сложных органических соединений расщепляются под действием ферментов на более мелкие	Небольшое количество энергии, рассеиваемой в виде тепла
II. Бескислородный (неполный), гликолиз; у микроорганизмов — брожение, осуществляется не на мембранах, а в гиалоплазме	Дальнейшее расщепление молекул при участии ферментов до более простых соединений. Так, глюкоза распадается на две молекулы пировиноградной кислоты ($C_3H_4O_3$), которая затем восстанавливается в молочную кислоту ($C_3H_6O_3$); в реакциях участвуют H_3PO_4 и АДФ: $C_6H_{12}O_6 + 2H_3PO_4 + 2АДФ \rightarrow 2C_3H_6O_3 + 2АТФ + 2H_2O$. У дрожжевых грибов — спиртовое брожение: $C_6H_{12}O_6 + 2H_3PO_4 + 2АДФ \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 2АТФ + 2H_2O$	При расщеплении глюкозы 60% выделившейся энергии дает тепло, 40% идет на синтез двух молекул АТФ, эта часть энергии запасается

Окончание

Этап, локализация в клетке	Особенности протекания этапов	Энергетическая ценность
III. Кислородный, протекает в матриксе митохондрий мембран митохондрий	При доступе кислорода к клеткам образовавшиеся на предыдущем этапе вещества окисляются до CO_2 и H_2O : $2\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3 + 6\text{O}_2 + 36\text{H}_3\text{PO}_4 + 36\text{ADP} \rightarrow$ $\rightarrow 6\text{CO}_2 + 38\text{H}_2\text{O} + 36\text{ATP}$. Образовавшиеся молекулы АТФ выходят за пределы митохондрий и участвуют во всех процессах клетки, где необходима энергия	При окислении двух молекул молочной кислоты образуется 36 молекул АТФ

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение ассимиляции и диссимиляции.
2. Какими фазами характеризуется процесс фотосинтеза?
3. В чем суть хемосинтеза?
4. Что такое метаболизм?
5. Как связаны между собой пластический и энергетический обмена?
6. Какова химическая природа АТФ?
7. Какие химические связи называются макроэнергетическими?
8. Какие способы питания вам известны?
9. Как называются органоиды клетки, в которых происходит фотосинтез?
10. Перечислите основные этапы энергетического обмена.

11.4. Наследственная информация и реализация ее в клетке

11.4.1. Генетическая информация

Белки — основа видовой специфичности. Одна из самых замечательных особенностей жизни состоит в том, что все живые существа характеризуются общностью строения клеток и происходящих в них процессов. Однако они имеют и очень много различий. Даже особи одного вида различаются по некоторым свойствам и признакам: морфологическим, физиологическим, биохимическим. В конечном счете, сходство и различие организмов определяется набором белков. Каж-

дый вид растений и животных имеет особый, только ему присущий набор белков, т.е. *белки являются основой специфичности*. Некоторые белки, выполняющие одинаковые функции, могут иметь одинаковое строение у разных видов. Например, инсулин — гормон поджелудочной железы, регулирующий количество сахара в крови, одинаков у собаки и у человека. Однако многие белки, выполняя одну и ту же функцию, несколько отличаются по строению у разных представителей одного и того же вида. Примером могут служить белки групп крови у человека. Такое *разнообразие белков обуславливает индивидуальную специфичность организмов*.

На Земле нет двух людей, у которых все белки были бы одинаковыми. Молекулы ДНК¹ являются матрицами для создания всех белков.

В ДНК заключена вся информация о структуре и деятельности клеток, о всех признаках каждой клетке и организма в целом. Эта информация называется генетической.

Генетическая информация хранится в виде определенной последовательности нуклеотидов ДНК, а реализуется в виде аминокислотной последовательности белков, причем посредниками, переносчиками информации выступают РНК².

Таким образом, реализация генетической информации происходит следующим образом: ДНК → РНК → белок.

Как видим, передача информации имеет одностороннюю направленность.

В данном разделе необходимо ввести одно очень важное определение: элементарной единицей наследственности, представляющей отрезок молекулы ДНК, является ген (греч. genesis — происхождение).

Ген — участок молекулы ДНК, содержащий информацию о первичной структуре одной полипептидной цепочки или молекулы рРНК и мРНК. Таким образом, ген определяет строение одного из белков живой клетки и тем самым участвует в формировании признака или свойства организма.

Всего на длинной молекуле ДНК находится несколько тысяч генов.

Генетический код — это свойственный всем живым организмам способ кодирования аминокислотной последовательности белков при помощи последовательности нуклеотидов в молекуле ДНК.

¹ ДНК — сокращенное название дезоксирибонуклеиновой кислоты, макромолекула, обеспечивающая хранение, передачу из поколения в поколение и реализацию генетической программы развития и функционирования живых организмов. Структура молекулы ДНК получила название «двойной спирали».

² РНК — сокращенное название рибонуклеиновой кислоты, макромолекула, содержащаяся наряду с ДНК и белками в клетках всех живых организмов

Реализация генетической информации в живых клетках (т.е. синтез белка, закодированного в ДНК) осуществляется при помощи двух матричных процессов: транскрипции (т.е. синтеза иРНК на матрице ДНК) и трансляции (синтез полипептидной цепи на матрице иРНК).

В ДНК используется четыре нуклеотида — аденин (А), гуанин (Г), цитозин (Ц), тимин (Т). Эти «буквы» составляют алфавит генетического кода. В РНК используются те же нуклеотиды, за исключением тимина, который заменен урацилом (У). В молекулах ДНК и РНК нуклеотиды выстраиваются в цепочки и, таким образом, получают последовательности «букв».

В нуклеотидной последовательности ДНК имеются кодовые «слова» для каждой аминокислоты будущей молекулы белка — генетический код. Он заключается в определенной последовательности расположения нуклеотидов в молекуле ДНК.

В настоящее время код ДНК полностью расшифрован, и мы можем говорить об определенных свойствах, характерных для этой уникальной биологической системы, обеспечивающей перевод информации с «языка» ДНК на «язык» белка.

Свойства генетического кода:

триплетность. Три стоящих подряд нуклеотида кодируют «имя» одной аминокислоты, т.е. каждая из 20 аминокислот зашифрована значащей единицей кода — сочетанием из трех нуклеотидов, называемых *триплет* или *кодон*;

однозначность (дискретность). Один триплет не может кодировать две разные аминокислоты, шифрует только одну аминокислоту. Определенный кодон соответствует только одной аминокислоте;

избыточность (вырожденность). Каждая аминокислота может определяться более, чем одним триплетом. Исключение — *метионин* и *триптофан*;

неперекрываемость. Одно и то же основание не может одновременно входить в два соседних кодона;

полярность. Некоторые триплеты не кодируют аминокислоты, а являются своеобразными «дорожными знаками», которые определяют начало и конец отдельных генов, поэтому мы можем говорить о полярности генетического кода;

универсальность. У животных и растений, у грибов, бактерий и вирусов один и тот же триплет кодирует один и тот же тип аминокислоты, т.е. генетический код одинаков для всех живых существ. Универсальность кода ДНК подтверждает единство происхождения всего живого на нашей планете. На использовании свойства универсальности генетического кода основаны методы *генной инженерии*.

11.4.2. Репликация ДНК

Удвоение ДНК. Молекулы ДНК обладают поразительным свойством, не присущим ни одной другой из известных молекул, — способностью к удвоению. Что представляет собой процесс удвоения? Вы помните, что двойная спираль ДНК построена по принципу комплементарности. Этот же принцип лежит в основе удвоения молекул ДНК. С помощью специальных ферментов водородные связи, скрепляющие нити ДНК, разрываются, нити расходятся и к каждому нуклеотиду каждой из этих нитей последовательно пристраиваются комплементарные нуклеотиды. Разошедшиеся нити исходной (материнской) молекулы ДНК являются матричными — они задают порядок расположения нуклеотидов во вновь синтезируемой цепи. В результате действия сложного набора ферментов происходит соединение нуклеотидов друг с другом. При этом образуются новые нити ДНК, комплементарные каждой из разошедшихся цепей. Таким образом, в результате удвоения создаются две двойные спирали ДНК (дочерние молекулы), каждая из них имеет одну нить, полученную от материнской молекулы, и одну нить, синтезированную вновь.

Дочерние молекулы ДНК ничем не отличаются друг от друга и от материнской молекулы. При делении клетки дочерние молекулы ДНК расходятся по двум образующимся клеткам, каждая из которых вследствие этого будет иметь ту же информацию, которая содержалась в материнской клетке. Так как гены — это участки молекул ДНК, то две дочерние клетки, образующиеся при делении, имеют одинаковые гены.

Процесс матричного синтеза ДНК, осуществляемый ферментами ДНК-полимеразами, называют **репликацией**.

11.4.3. Хромосомы, их строение

В соматических клетках число хромосом в два раза больше, чем в зрелых половых клетках, так как при оплодотворении половина хромосом поступает из материнского организма (в яйцеклетке) и половина из отцовского (в сперматозоиде). Таким образом, в ядре соматической клетки все хромосомы парные. Причем каждая пара отличается от других пар. Такие парные, равные по форме и размеру хромосомы, несущие одинаковые гены, называют **гомологичными**.

Хромосомный набор соматической клетки, в котором каждая хромосома имеет себе пару, носит название *двойного* или *диплоидного* и обозначается **2n**. Количество ДНК, соответствующее диплоидному набору хромосом, обозначают **2c**.

Из каждой пары гомологичных хромосом в половые клетки попадает только одна, и поэтому хромосомный набор гамет называют *одинарным* или *гаплоидным*. Кариотип таких клеток обозначается как **1n1c**.

Изучение хромосом позволило установить следующие факты.

- 1) во всех соматических клетках любого растительного или животного организма число хромосом одинаково;
- 2) половые клетки всегда содержат вдвое меньше хромосом, чем соматические клетки данного вида организма;
- 3) у всех организмов, относящихся к одному виду, число хромосом в клетках одинаково.

Число хромосом не зависит от уровня организации и не всегда указывает на родство: одно и то же число их может быть у очень далеких друг от друга систематических групп и может сильно отличаться у близких по происхождению видов.

Таким образом, само по себе число хромосом не является видоспецифическим признаком. Однако характеристика хромосомного набора в целом видоспецифична, т.е. свойственна только одному какому-то виду организмов растений или животных.

Совокупность количественных (число и размеры) и качественных (форма) признаков хромосомного набора соматической клетки называют **кариотипом**.

Число хромосом в кариотипе большинства видов живых организмов четное. Это объясняется тем, что в соматических клетках находятся две одинаковые по форме и размеру хромосомы — одна из отцовского организма, вторая — из материнского.

Кариотип человека состоит из 46 хромосом (23 пар) определенного размера и формы, несущих более 30 тыс. генов. Эти гены определяют строение десятков тысяч типов белков, РНК и других веществ организма.

Изменения структуры или количества хромосом приводят к изменению или потере части информации и к нарушению нормального функционирования клетки.

У далеких видов количество хромосом может быть одинаковым, а у родственных видов значительно различаться. В делящихся клетках все хромосомы спирализуются, укорачиваются и приобретают компактные размеры и форму.

После завершения деления клетки хромосомы деспирализуются, и в ядрах образовавшихся дочерних клеток снова становятся видимыми только сеточка и глыбки хроматина.

Контрольные вопросы и задания

1. Какая информация называется генетической?
2. Дайте определение гена.
3. Какими двумя этапами характеризуется экспрессия генов?
4. Перечислите основные свойства генетического кода.
5. Что такое репликация ДНК и как она происходит?
6. Что такое хломатин?
7. Как устроены и из чего состоят хромосомы?
8. Какие хромосомы называют гомологичными?
9. Что такое кариотип? Дайте определение.
10. Какой хромосомный набор называют гаплоидным? Диплоидным?

11.5. Эволюционное учение**11.5.1. Понятие биологической эволюции**

Человек — это общественное существо, отличительной чертой которого является сознание, сформировавшееся на основе общественно-трудовой деятельности. Человек появился на Земле в итоге длительного процесса развития (антропогенеза). Все ныне живущие представители человечества относятся к одному виду — Человек разумный (*Homo sapiens*), который принадлежит к классу млекопитающих, отряду приматов и семейству гоминид.

Эволюционная идея в биологии начала формироваться еще в конце XVIII в.

Под эволюцией органического мира понимают процесс исторического развития от древнейших до современных и будущих форм жизни. Сущность этого процесса состоит как в непрерывном приспособлении животного к разнообразным и постоянно меняющимся условиям окружающей среды, так и в появлении все более сложно устроенных организмов. В ходе эволюции осуществляется преобразование видов, на этой основе возникают новые виды, постоянно происходит также и вымирание видов (табл. 11.5).

Карл Линней (1707—1778) — шведский естествоиспытатель. Основположник принципов и методов систематики органического мира. Впервые последовательно применил бинарную номенклатуру растений и животных.

Таблица 11.5

Положение человека в системе живой природы

Царство	Животные
Подцарство	Многоклеточные
Надраздел	Настоящие многоклеточные
Раздел	Двусторонне-симметричные (Трехслойные)
Подраздел	Вторичноротые
Тип	Хордовые
Подтип	Позвоночные (Черепные)
Надкласс	Четвероногие
Класс	Млекопитающие
Подкласс	Живородящие
Инфракласс	Высшие звери (Планцентарные)
Отряд	Приматы
Подотряд	Высшие приматы (Человекоподобные)
Секция	Узконосые обезьяны Старого света
Семейство	Гоминиды
Род	Человек (<i>Homo</i>)
Вид	Человек разумный (<i>Homo sapiens</i>)
Подвид	<i>Homo sapiens sapiens</i>

Карл Линней верил в сотворение природы Богом и постоянство видов, но допускал возможность возникновения новых видов путем скрещивания или под влиянием условий среды. В книге «Система природы» К. Линней обосновал вид как универсальную единицу и основную форму существования живого; каждому виду животных и растений присвоил двойное обозначение, где существительное — название рода, прилагательное — наименование вида (например, человек разумный); описал огромное количество растений и животных; разработал основные принципы систематики растений и животных и создал их первую классификацию.

Жан Батист Ламарк (1744—1829) — французский натуралист, ботаник, зоолог, палеонтолог, эволюционист. Ввел термин «биология». Впервые разделил животных на позвоночных и беспозвоночных. Именно Ламарк первым создал целостную эволюционную концепцию. В знаменитой книге «Философия зоологии» он доказывал изменчивость видов и сам факт эволюции. Однако Ламарк неверно понимал движущую силу эволюционного процесса, выводив ее из якобы присущего организмам стремления к совершенству. Он также неверно связывал причины возникновения приспособленности с прямым или

косвенным воздействием на организм факторов окружающей среды, что породило необоснованное представление о наследственности приобретенных признаков.

Чарлз Роберт Дарвин (1809—1882) — натуралист, основоположник материалистического эволюционного учения о происхождении видов путем естественного отбора. Величайшее достижение человеческой мысли — открытие гениальным английским ученым **Чарлзом Дарвином** факторов эволюционного процесса и построение эволюционной концепции, которая дала материалистическое объяснение эволюционного процесса и заложила прочный фундамент для всех последующих исследований в этой области. **Ч. Дарвин** пришел к важнейшему представлению о естественном отборе, опираясь на который только и можно дать рациональное объяснение возникновению приспособленности живого и эволюционному процессу развития от простому к сложному.

Учение Дарвина сводится к следующим положениям.

- Все виды живых существ, населяющих Землю, никогда не были кем-то созданы.
- Возникнув естественным путем, органические формы медленно и постепенно преобразовывались и совершенствовались в соответствии с окружающими условиями.
- Каждая особь того или иного вида обладает индивидуальностью (*изменчивость*).
- Черты индивидуальности (хотя и не все) могут передаваться по наследству (*наследственность*).
- Особи производят большее количество потомков, чем доживает до половой зрелости и начала размножения, т.е. в природе существует *борьба за существование*.
- Преимущество в борьбе за существование остается за наиболее приспособленными особями, которые имеют больше шансов оставить после себя потомство (*естественный отбор*).
- В результате естественного отбора происходит постепенное усложнение уровней организации жизни и *возникновение видов*.

Факторами эволюции по Ч. Дарвину являются: наследственность, изменчивость, борьба за существование, естественный отбор.

В 40-х годах XX в. возникла современная синтетическая теория эволюции.

Синтетическая теория эволюции (СТЭ) — это комплекс представлений об эволюционном процессе, который основывается на соединении эволюционной теории Дарвина с генетикой популяций, представлениями о мутациях.

Основные положения СТЭ

- Элементарным материалом эволюции является наследственная изменчивость (мутационная и комбинативная) у особой популяции.
- Элементарной единицей эволюции является популяция, в которой происходят все эволюционные изменения.
- Элементарное эволюционное явление — это изменение генетической структуры популяции.
- Элементарные факторы эволюции — дрейф генов, волны жизни, поток генов — имеют ненаправленный, случайный характер.
- Единственным направленным фактором эволюции является естественный отбор, который носит творческий характер. Естественный отбор бывает стабилизирующим, движущим и разрывающим (дизруптивным).
- Эволюция имеет дивергентный характер, т.е. один таксон может дать начало нескольким новым таксонам, тогда как каждый вид имеет только одного предка (вид, популяцию).
- Эволюция имеет постепенный и продолжительный характер. видообразование как этап эволюционного процесса является последовательной сменой одной популяции чередой других временных популяций.
- Различают два вида эволюционного процесса: микроэволюция и макроэволюция. Макроэволюция не имеет своих особых механизмов и осуществляется только благодаря микроэволюционным механизмам.
- Любая систематическая группа может или процветать (биологический прогресс), или вымирать (биологический регресс). Биологический прогресс достигается благодаря изменениям в строении организмов: ароморфозам, идиоадаптациям или общей дегенерации.
- Основными закономерностями эволюции являются ее необратимый характер, прогрессивное усложнение форм жизни и развитие приспособленности видов к среде обитания. Вместе с тем эволюция не имеет конечной цели, т.е. этот процесс ненаправленный.

Несмотря на то что эволюционная теория за прошедшие десятилетия обогатилась данными смежных наук — генетики, селекции и др., все же она не учитывает целого ряда аспектов, например, направленного изменения наследственного материала, поэтому в будущем возможно создание новейшей концепции эволюции, которая заменит синтетическую теорию.

11.5.2. Понятие вида и его критериев

Вид — совокупность географически и экологически близких популяций, способных в природных условиях скрещиваться между собой, обладающих общими морфофизиологическими признаками, биологически изолированных от популяций других видов.

Критерии вида — совокупность определенных признаков, свойственных только одному какому-то виду (табл. 11.6).

Таблица 11.6

Критерий вида	Показатели каждого критерия
Морфологический	Сходство внешнего и внутреннего строения особей одного вида; характеристика особенностей строения представителей одного вида
Физиологический	Сходство всех процессов жизнедеятельности, и прежде всего размножения. Представители разных видов, как правило, не скрещиваются или их потомство бесплодно
Биохимический	Видовая специфичность белков и нуклеиновых кислот
Генетический	Каждый вид характеризуется определенным, присущим только ему набором хромосом, их структурой и дифференцированной окраской
Эколого-географический	Ареал обитания и непосредственная среда обитания — экологическая ниша. Каждый вид имеет свою собственную нишу обитания и ареал распространения

Ни один из критериев не является абсолютным. Например, морфологическое сходство могут иметь разные виды, но они не скрещиваются между собой (виды-двойники встречаются у комаров, крыс и др.). Физиологический критерий также не абсолютен: большинство разных видов в природных условиях не скрещиваются или потомство их бесплодно, но есть исключения — ряд видов канареек, тополей и др. Таким образом, для установления видовой принадлежности необходимо использовать совокупность критериев.

Население вида, как правило, распадается на относительно изолированные группы особей — популяции. **Популяция** — совокупность свободно скрещивающихся особей одного вида, которая длительно существует в определенной части ареала относительно обособленно от других совокупностей того же вида.

Главный фактор, определяющий единство популяции и ее относительную обособленность, — свободное скрещивание особей — пан-

миксия. Внутри популяции каждый организм одного пола имеет равную вероятность на образование брачной пары с любым организмом другого пола. Степень свободного скрещивания особей внутри популяции гораздо выше, чем между особями соседних популяций.

Популяция является структурной единицей вида и единицей эволюции. Эволюционируют не отдельные особи, а группы особей, объединенные в популяции. Эволюционные процессы в популяции происходят в результате изменения частот аллелей и генотипов.

11.5.3. Микроэволюция

Микроэволюция — это процессы, протекающие в популяциях и приводящие к изменению их генофондов вплоть до образования новых видов.

Принято выделять следующие элементарные факторы эволюции:

- мутационный процесс;
- популяционные волны;
- рекомбинация;
- изоляция;
- отбор.

Мутационный процесс

Мутации, приводящие к переходу гена из одного аллельного состояния в другое ($A \rightarrow a$) или к изменению гена вообще ($A \rightarrow C$), выступают непосредственной причиной изменения частоты данного гена (аллеля) в популяции. Несмотря на относительную редкость мутаций, они являются основным поставщиком «материала» для эволюции, и «давление», оказываемое мутационным процессом, существенно сказывается на генетической структуре популяции.

Мутации представляют собой ненаправленные изменения генотипа, и в большинстве случаев они вредны для организма.

Мутационный процесс носит случайный и ненаправленный характер.

Популяционные волны

Популяционные волны (волны жизни) — колебания численности популяции, как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения. В той или иной степени все виды подвержены действию популяционных волн. В качестве же эволюционного фактора они выступают, главным образом, в малочисленных популяциях. Это объясняется тем, что их эволюционное действие основано на случайном изменении генетической структуры популяции, т.е. на явлении дрейфа генов.

Популяционные волны могут быть обусловлены различными причинами:

- периодическими колебаниями уровня какого-либо фактора среды, в том числе сезонными изменениями;
- неперiodическими изменениями условий существования, например, природными катастрофами, колебаниями пищевых ресурсов;
- заселением новых территорий (классическим является пример резкой вспышки численности завезенных в Австралию кроликов).

Рекомбинация

Рекомбинация генетического материала в результате процессов полового размножения является причиной появления новых сочетаний генов, часть из которых может иметь большее приспособительное значение, чем остальные. Возникшие благоприятные комплексы генов в дальнейшем подвергаются действию естественного отбора. Это в свою очередь приводит к изменению генетической структуры популяции.

Изоляция

Изоляция — это разобщение особей или их групп (популяций) в результате возникновения барьеров для свободного скрещивания.

Изолированные популяции подвергаются различному действию естественного отбора и постепенно превращаются в различные виды.

Выделяют две основные **формы изоляции**:

- 1) пространственную;
- 2) биологическую.

Пространственная изоляция может быть обусловлена наличием географических барьеров (горы, водные пространства, пустыни); а для малоподвижных популяций в качестве факторов изоляции могут выступать большие расстояния.

Причинами *биологической изоляции* могут являться:

- невозможность спаривания и оплодотворения;
- гибель зигот;
- стерильность потомства.

Они определяются различным временем половой активности; различиями в строении полового аппарата у животных или цветка у растений; эволютическими отличиями (разной формой брачного поведения); а также генобиохимическими различиями гамет, при слиянии которых зигота погибает либо развивается гибрид, у которого затруднено либо вообще невозможно образование полноценных гамет.

Отбор

Естественный отбор обеспечивает протекание процесса эволюции в том или ином направлении. В результате его действия в популяции происходит увеличение относительного числа особей, обладающих определенным свойством или качеством.

Естественный отбор определяют как процесс дифференциального (выборочного) размножения генотипов.

Все эволюционные изменения происходят вслед за изменениями условий существования, и отбор — это лишь реакция на изменения среды и приспособления к уже существующим условиям.

Еще один важный момент — отбор не вызывает появления новых признаков (они возникают благодаря мутациям), а лишь способствует исчезновению или распространению уже существующих признаков в популяции.

Три фактора составляют **предпосылки действия естественного отбора**:

- 1) генетическая **разнородность** особей, входящих в состав популяции (изменчивость);
- 2) избыточность потомства (или прогрессия размножения);
- 3) борьба за существование.

Выделяют три основные **формы борьбы за существование**:

- 1) внутривидовая борьба;
- 2) межвидовая борьба;
- 3) борьба с неблагоприятными факторами среды.

Борьба за существование не является «борьбой» в прямом смысле этого слова, фактически она представляет собой просто стратегию выживания и способ существования организма.

Различают несколько **форм отбора**.

Движущий отбор. Он закрепляет возникновение новых мутаций, вызывающих изменение средней величины признака, приводя к направленному изменению частот аллелей и генотипов в популяции. Движущий отбор действует главным образом в изменяющихся условиях среды и во время заселения новых территорий.

Стабилизирующий отбор. Эта форма отбора действует в относительно неизменных условиях среды, результатом такого отбора является элиминация крайних вариантов проявления признака, т.е. стабилизирующий отбор способствует сохранению и поддержанию средних значений признака.

Дизруптивный отбор. Эта форма отбора приводит к закреплению в популяции наиболее отклонившихся от среднего фенотипа форм.

Контрольные вопросы и задания

1. Что понимают под эволюцией органического мира?
2. Перечислите факторы эволюции по Ч. Дарвину.
3. Каковы основные положения синтетической теории эволюции?
4. Дайте характеристику рудиментам и атавизмам.
5. Что подтверждает эмбриологическое сходство ранних стадий развития зародышей?
6. Что называется видом и популяцией?
7. Каковы основные критерии вида?
8. Перечислите основные факторы микроэволюции.
9. Каковы причины биологической изоляции?
10. Дайте характеристику формам естественного отбора.

11.6. Наследственность и изменчивость**11.6.1. Наследственность и изменчивость — свойства организмов**

Развитие генетики — характерная черта биологии XX в. Генетика изучает законы наследственности и изменчивости, лежащие в основе эволюции органического мира и деятельности человека по созданию новых сортов культурных растений и пород домашних животных.

Наследственность — это свойство организма передавать свои признаки и особенности развития следующим поколениям. Благодаря наследственности все особи в пределах вида сходны между собой. Наследственность позволяет животным, растениям и микроорганизмам сохранять из поколения в поколение характерные черты вида, породы, сорта.

Наследование признаков осуществляется посредством размножения. При половом размножении новые поколения возникают в результате оплодотворения. Материальные основы наследственности заключены в половых клетках. При бесполом или вегетативном размножении новое поколение развивается или из одноклеточных спор или из многоклеточных образований. И при этих формах размножения связь между поколениями осуществляется через клетки, в которых заключены материальные основы наследственности.

Изменчивость — свойство организмов приобретать новые признаки в процессе индивидуального развития. Благодаря изменчивости особи в пределах вида различаются между собой.

Следовательно, наследственность и изменчивость — два противоположных, но взаимосвязанных свойства организма. Благодаря наследственности сохраняется однородность вида, а изменчивость, наоборот, делает вид неоднородным.

Различия между особями одного вида могут зависеть от изменения материальных основ наследственности организма. Изменчивость определяется и внешними условиями. Каждому известно, что проявление свойств породы во многом зависит от условий содержания и кормления.

Совокупность генов, которую организм получает от родителей, составляет его *генотип*. Совокупность внешних и внутренних признаков — это *фенотип*.

Генетика как наука оперирует определенными терминами и понятиями, основные из которых приведены в табл. 11.7.

Таблица 11.7

Основные термины и понятия генетики

Термин	Определение
Генетика	Наука, изучающая закономерности наследственности и изменчивости организмов
Ген	Участок молекулы ДНК, содержащий информацию о первичной структуре одного белка; гены находятся в хромосомах, образуя «группы сцепления»
Аллельные гены	Это пара генов, определяющих развитие альтернативных (контрастных) признаков организма; расположены в одних и тех же участках гомологичных хромосом; каждый ген этой пары называется аллелью
Альтернативные признаки	Это взаимоисключающие признаки; часто один из них является доминантным, а другой — рецессивным
Доминантный признак	Признак, проявляющийся у гибридов первого поколения; обозначается заглавной буквой (<i>A</i>)
Рецессивный признак	Признак, не проявляющийся у гибридов первого поколения; обозначается строчной буквой (<i>a</i>)
Генотип	Совокупность всех генов организма
Фенотип	Совокупность признаков организма, обусловленных взаимодействием генотипа с условиями внешней среды
Гомозигота	Клетка или организм, несущие одинаковые аллели одного гена (<i>AA</i> или <i>aa</i>)
Гетерозигота	Клетка или организм, несущие разные аллели одного гена (<i>Aa</i>)
Чистая линия	Гомозиготный организм

Термин	Определение
Моногибридное скрещивание	Скрещивание, при котором скрещиваемые организмы отличаются по одной паре альтернативных признаков
Дигибридное скрещивание	Скрещивание, при котором скрещиваемые организмы отличаются по двум парам альтернативных признаков

Символы, используемые при решении генетических задач:

P — родительский организм;

♀ — женский организм («мама»);

♂ — мужской организм («папа»);

(×) — знак скрещивания;

G(g) — гаметы (обводятся кружочком);

F — гибридное поколение (совокупность организмов, полученных от скрещивания особей с различными признаками);

F₁ — первое поколение (дети);

F₂ — второе поколение (внуки);

F₃ — третье поколение (правнуки).

11.6.2. Закономерности наследования, установленные Г. Менделем и Т. Морганом

Грегор Мендель (1822—1884) — выдающийся чешский ученый. Основоположник генетики. Впервые обнаружил существование наследственных факторов, впоследствии названных генами. Он впервые применил гибридологический метод, а результатом проведенных исследований явилось открытие закономерностей наследования, которые сегодня известны как законы (или правила) Менделя.

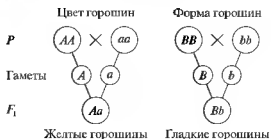
Одна из особенностей метода Менделя состояла в том, что он использовал для экспериментов *чистые линии*, т.е. растения, в потомстве которых при самоопылении не наблюдалось разнообразия по изучаемому признаку. (В каждой из чистых линий сохранялась однородная совокупность генов.) Другой важной особенностью гибридологического метода было то, что Г. Мендель наблюдал за наследованием *альтернативных* (взаимоисключающих, контрастных) признаков. Например, растения низкие и высокие; цветки белые и пурпурные; форма семян гладкая и морщинистая и т.д. Не менее важная особенность метода — точный количественный учет каждой пары альтернативных признаков в ряду поколений. Математическая обработка опытных данных позволила Г. Менделю установить количественные закономерности в передаче изучаемых признаков. Очень существенно было то, что Г. Мендель

в своих опытах шел аналитическим путем: он наблюдал наследование многообразных признаков не сразу в совокупности, а лишь одной пары (или небольшого числа пар) альтернативных признаков.

Гибринологический метод лежит и в основе современной генетики.

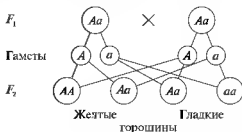
Первый закон Менделя — закон единообразия гибридов первого поколения

При скрещивании двух организмов, относящихся к разным чистым линиям (двух гомозиготных организмов), отличающихся друг от друга по одной паре альтернативных признаков, все первое поколение гибридов (F_1) окажется единообразным и будет нести признак одного из родителей.



Второй закон Менделя — закон расщепления признаков

При скрещивании двух потомков первого поколения между собой (двух гетерозиготных особей) во втором поколении наблюдается расщепление признаков в определенном числовом соотношении: по фенотипу 3 : 1, по генотипу 1 : 2 : 1.



Третий закон Менделя — закон независимого комбинирования

При скрещивании двух гомозиготных особей, отличающихся друг от друга двумя и более парами альтернативных признаков, гены и соответствующие им признаки наследуются независимо друг от друга и комбинируются во всех возможных сочетаниях.

Закон независимого комбинирования (наследования) признаков проявляется в случаях, когда гены, отвечающие за признаки, располагаются на разных парах



Гаметы	AB	Ab	aB	ab
AB	$AABB$	$AABb$	$AaBB$	$AaBb$
Ab	$AABb$	$Aabb$	$AaBb$	$Aabb$
aB	$AaBB$	$AaBb$	$aaBB$	$aaBb$
ab	$AaBb$	$Aabb$	$aaBb$	$aabb$

Томас Генг Морган (1866—1945) — американский эмбриолог, генетик. Лауреат Нобелевской премии 1933 г. Впервые начал исследования на плодовой мушке дрозофиле. Морган и его школа создали в итоге этих опытов хромосомную теорию наследственности. Т. Морган и его ученики провели большую работу по изучению наследования *неаллельных генов*, расположенных в паре гомологичных хромосом. Ученые установили, что гены, расположенные в одной хромосоме, наследуются совместно, или сцепленно. Группы генов, расположенные в одной хромосоме, называют *группами сцепления*. Сцепленные гены расположены в хромосоме в линейном порядке. Число групп сцепления у генетически хорошо изученных объектов равно числу пар хромосом, т.е. гаплоидному числу хромосом. У человека 23 пары хромосом и 23 группы сцепления.

Сцепление генов, локализованных в одной хромосоме, не бывает абсолютным. Перекрест, происходящий между гомологичными хромосомами, постоянно осуществляет «перетасовку» — *рекомбинацию* генов. Т. Морган и его сотрудники показали, что, изучив явление сцепления и перекреста, можно построить *карты хромосом* с нанесенным на них порядком расположения генов. Карты, построенные по этому принципу, созданы для многих генетически хорошо изученных объек-

тов: кукурузы, мышцы, дрожжей, гороха, пшеницы, томата, плодовой мушки дрозофилы.

Как геологу или моряку совершенно необходима географическая карта, так и генетику крайне необходима *генетическая карта* того объекта, с которым он работает. В настоящее время создано несколько эффективных методов построения генетических карт. В результате возникла возможность сравнивать строение **генома**, т.е. совокупности всех генов гаплоидного набора хромосом, у различных видов, что имеет важное значение для генетики, селекции, а также эволюционных исследований.

11.6.3. Хромосомная теория наследственности

Хромосомную теорию наследственности сформулировал Т. Морган в 1911 г.

- Гены находятся в хромосомах в линейном порядке.
- Каждый ген занимает в хромосоме строго определенное место — локус.
- Гены одной хромосомы наследуются сцеплено (группой сцепления), благодаря этому признаки наследуются совместно. Количество групп сцепления у организма равно гаплоидному набору хромосом.
- Нарушение сцепления происходит только в результате кроссинговера. Частота кроссинговера прямо пропорциональна расстоянию между генами: чем гены дальше, тем обмен чаще.
- Независимое наследование характерно только для генов, находящихся в негомологичных хромосомах.
- Каждый биологический вид характеризуется определенным хромосомным набором (кариотипом).

11.6.4. Наследственная и ненаследственная изменчивость

Изменчивость — способность организмов приобретать новые признаки. Это приводит к разнообразию свойств и признаков у особей различной степени родства. Изменения фенотипа могут быть связаны либо с влиянием среды на экспрессию генов, либо с изменениями самого генетического материала. В зависимости от этого различают ненаследственную (модификационную) изменчивость и наследственную (генетическую) изменчивость.

Ненаследственная изменчивость:

- затрагивает только фенотип (генотип не изменяется);
- не передается по наследству;
- носит массовый характер, т.е. наблюдается у большого числа особей в одинаковых условиях среды;
- адекватна условиям среды и носит приспособительный характер, т.е. повышает жизнестойкость и способствует выживанию особей;
- поддается статистической обработке, позволяющей отобразить изменение признака в виде вариационного ряда и вариационной кривой.

В основе модификационной изменчивости лежит то обстоятельство, что наследуется не сам признак, а лишь способность к его развитию. В зависимости от условий среды признак может проявляться в различной степени. Границы варьирования (изменчивости) признака называют **нормой реакции**. Норма реакции — возможный размах фенотипических изменений, определяемых данным генотипом под влиянием условий внешней среды.

Наследственная (генотипическая) изменчивость — наследственные изменения признаков организма, определяемые генотипом и сохраняемые в ряду поколений. Характеризуется следующими свойствами:

- передается по наследству;
- носит индивидуальный характер, т.е. наблюдается у отдельных особей;
- неадекватны условиям среды, т.е. могут быть нейтральными, вредными или полезными;
- возникают скачкообразно, т.е. случайно, и могут привести к образованию новых популяций или гибели отдельных особей.

11.6.5. Мутагены и мутации

Наследственная изменчивость бывает комбинативной и мутационной.

Комбинативная изменчивость — связана с получением новых сочетаний генов в генетике. Ее источниками являются:

- независимое расхождение хромосом в мейозе при созревании половых клеток;
- рекомбинация генов при кроссинговере в первом делении мейоза;
- случайное сочетание генов материнской и отцовской гамет при оплодотворении.

Мутационная изменчивость — возникает в результате мутаций.

Мутации — это качественные или количественные изменения ДНК организмов, приводящие к изменениям их генотипа.

С одной стороны, мутации могут происходить самопроизвольно вследствие ошибок в ходе репликации, репарации и рекомбинации ДНК. С другой стороны — они могут быть вызваны внешними причинами — **мутагенами**. Мутагены — факторы внешней окружающей среды, вызывающие мутацию.

Мутагены могут быть вызваны:

- действием физических факторов: ионизирующая радиация, гамма-лучи, рентгеновские лучи и ультрафиолетовые лучи;
- действием химических соединений, используемых:
 - в сельском хозяйстве (гербициды и пестициды),
 - медицине в качестве лекарств и антисептиков (формалин),
 - производстве (афоксид — импрегнатор текстильных тканей, бисульфит натрия — консервант продуктов, тяжелые металлы: свинец, ртуть, медь и др.);
- проникновением в организм биологических объектов (вирусов, бактерий, простейших), способных вызвать нарушение структуры ДНК.

Зачастую мутагены одновременно являются и **канцерогенами** — факторами вызывающими развитие злокачественных опухолей.

Существуют *три вида классификации мутаций* по степени изменения генетического материала:

- 1) **генные мутации** — изменяют структуру отдельных генов. Наименьший участок молекулы ДНК, способный к мутации, — *мутон*. Участки генов могут выпадать, встраивать дополнительные пары нуклеотидов ДНК или меняться своими местами. Генные мутации составляют основную долю всех мутаций;
- 2) **хромосомные мутации** — изменяют структуру отдельных хромосом (хромосомные перестройки, или абберации) в результате разрывов и воссоединений:
 - делеция* — утрата хромосомой какого-либо участка (у кукурузы отсутствие хлорофилла у проростков),
 - дупликация* — удвоение какого-либо участка хромосомы (у дрозофилы полосковидные глаза вместо круглых),
 - инверсия* — переверот какого-либо участка хромосомы на 180°,
 - транслокация* — перемещение участка одной хромосомы на другую негомологичную хромосому,
 - транспозиция* — вставка фрагмента с несколькими генами в участок другой хромосомы;

- 3) **геномные мутации** — изменяют число хромосом в хромосомных наборах организмов:

анеуплоидия заключается в утрате и добавлении к гаплоидному или диплоидному набору отдельных хромосом — $n + 1$, $2n + 1$, $n - 1$, $2n - 1$ (трисомия — 21, или синдром Дауна у человека, моносомия ХО — синдром Шерешевского — Тернера и др.),

полиплоидии заключается в увеличении числа хромосом, кратному гаплоидному ($3n$ — триплоид, $4n$ — тетраплоид, $5n$ — пентаплоид);

автополиплоидия приводит к кратному увеличению числа хромосом в основном у культурных растений;

аллополиплоидия приводит к кратному увеличению числа хромосом в основном у бесплодных межвидовых гибридов.

Значение мутаций:

- снижают жизнеспособность организмов и часто приводят к смерти, нарушая процессы развития;
- увеличивают гетерозиготность популяции и являются исходным материалом для действия естественного отбора;
- поставляют материал для действия искусственного отбора, осуществляемого в селекции человеком;
- загрязнение окружающей среды факторами-мутагенами создает угрозу наследственности человека и других организмов.

11.6.6. Биотехнология. Клонирование. Генная и клеточная инженерия

Биотехнология — использование живых организмов и биологических процессов в промышленности и сельском хозяйстве; производство необходимых для человека веществ с использованием достижений микробиологии и биохимии.

Особенностью биотехнологии является то, что она сочетает в себе самые передовые достижения научно-технического прогресса с накопленным опытом прошлого, выражающимся в использовании природных источников для создания полезных для человека продуктов. Любой биотехнологический процесс включает ряд этапов:

- подготовку объекта;
- его культивирование;
- выделение;
- очистку;

- модификацию;
- использование полученных продуктов.

Задачи биотехнологии:

- синтез кормовых белков, витаминов, антибиотиков, лекарственных препаратов;
- решение экологических проблем. Борьба с загрязнением окружающей среды (Мусор $\xrightarrow{\text{Бактерии}}$ CH_4);
- решение энергетической проблемы (использование биогаза);
- получение сырья для пищевой, химической и текстильной промышленности;
- получение технических белковых добавок (наполнителей, загустителей, эмульгаторов, стабилизаторов);
- расширенное производство вакцин, анагтоксенов, бактериофагов;
- получение средств защиты морей и океанов от нефтяных и ртутных загрязнений;
- превращение полиэтиленовых пленок в углекислый газ;
- тесты на различные полезные ископаемые.

Направления современной биотехнологии:

- 1) микробиологическое производство;
- 2) клеточная инженерия;
- 3) генная инженерия.

Контрольные вопросы и задания

1. Что изучает генетика?
2. Дайте определение генотипа и фенотипа.
3. Как формируется второй закон Менделя?
4. Где находятся гены?
5. Каковы основные положения хромосомной теории наследственности?
6. Какие изменения возникают при наследственной изменчивости?
7. В результате чего происходит комбинативная изменчивость?
8. Что такое мутации и с чем они связаны?
9. Что происходит при генных мутациях?
10. С чем связаны геномные мутации?

ГЛАВА 12. ОРГАНИЗАЦИЯ ЧЕЛОВЕКА И ОСНОВНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ЕГО ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

12.1. Ткани, органы и системы органов

Ткань (биологическая) — это совокупность клеток и межклеточного вещества, объединенных единством строения и происхождения и выполняющих одинаковые функции.

В организме человека выделяют четыре типа тканей.

Эпителиальные ткани (эпителии) — это ткани, которые состоят из клеток (практически отсутствует межклеточное вещество), образующих пласты, расположенные на базальной мембране. Эти клетки расположены на границе внутренней и внешней сред (эпителий кожи и слизистых оболочек внутренних органов), а также входят в состав желез.

Их клетки плотно прилегают друг к другу, межклеточного вещества мало, клетки быстро размножаются. Выполняют следующие функции:

- защитную;
- дыхательную;
- выделительную;
- секреторную.

Соединительные (опорно-трофические) ткани — это разнообразные ткани, которые расположены во внутренней среде организма (кровь, лимфа, хрящи, кость, жировая ткань, сухожилия, связки), имеют хорошо развитое межклеточное вещество, которое может быть твердым (кость), волокнистым (хрящ), жидким (кровь, лимфа).

Выполняют следующие функции:

- питательную;
- опорную;
- транспортную;
- защитную;
- пластическую;
- структурно-образовательную.

Хрящевая ткань — сочетает в себе прочность, упругость и пластичность, благодаря чему успешно противостоит давлению и сжатию. Она содержит большое количество воды, а также органические и мине-

ральные вещества. Ткань входит в состав скелета, а также формирует стенку некоторых внутренних органов (гортань, трахея, бронхи).

Костная ткань — сочетает в себе прочность и легкость. Межклеточное вещество этой ткани содержит большое количество минеральных веществ; в ней сконцентрировано около 98% всех неорганических веществ организма, в том числе кальций, фосфор, магний и др.

Жировая ткань — в ее клетках откладывается жир, благодаря чему жировая ткань является депо (запасом) жира и воды, а также источником энергии.

Мышечные ткани — это ткани, способные к сокращению. Они обеспечивают движение организма в пространстве и двигательные функции отдельных органов и частей организма. Из нее состоят стенки внутренних органов (гладкая мышечная ткань), скелетные мышцы (поперечно-полосатая ткань), сердце.

Мышечные волокна содержат актиновые и миозиновые нити, способные к сокращению. Различают следующие *виды мышечной ткани*: гладкая (медленные сокращения), поперечно-полосатая скелетная и поперечно-полосатая сердечная. Мышечная ткань выполняет следующие **функции**:

- движение организма;
- сокращение стенок внутренних органов.

Нервная ткань — образует центральную нервную систему (головной и спинной мозг) и периферическую (нервы с их концевыми приборами, нервные узлы). Нервная ткань состоит из нейронов и нейроглии. **Нейрон** с отходящими от него отростками является структурно-функциональной единицей нервной системы. Основная функция нейрона — это получение, переработка, проведение и передача информации, закодированной в виде электрических или химических сигналов. В связи с необходимостью проведения информации (иногда на дальние расстояния) каждый нейрон имеет отростки. Один или несколько отростков, по которым нервный импульс приносит к телу нейрона, называется *дендритом*. Единственный отросток, по которому нервный импульс направляется от клетки, — это *аксон*. **Нервная клетка** динамически поляризована, т.е. способна пропускать импульс только в одном направлении, от дендрита к телу клетки, где информация обрабатывается, и далее к аксону. **Нейроглия** выполняет опорную, защитную и питательную функции.

В нервной ткани нейроны, контактируя друг с другом, образуют цепочки. Места контактов отростков нейронов друг с другом называются *синапсами*. Возбуждение по нейронам передается в виде нервного импульса. Нервная ткань выполняет следующие функции:

- интеграция всех частей организма;
- регуляция и координация деятельности;
- взаимодействие с окружающей средой;
- психическая (мышление, сознание, речь).

Ткани образуют **органы**. Каждый орган отличается свойственной лишь ему формой и строением, приспособленными к выполнению определенной функции, и содержит все виды тканей, однако одна из них является основной, «рабочей», выполняющей главную функцию органа. Так, например, в печени, легких, почках, железах — это эпителиальная. В кости основная ткань — соединительная (костная), в мозге — нервная. Соединительная ткань выполняет в каждом органе опорную, механическую, трофическую функции, образует соединительнотканый каркас органа, его строу. Мышечная ткань участвует в образовании стенок кровеносных, лимфатических сосудов, пищеварительной системы, воздухоносных и мочевыводящих путей. Нервная ткань представлена в виде нервов (и их разветвлений), иннервирующих орган, нервных узлов, лежащих в стенках органов или возле них.

Органы анатомически и функционально объединяют в **системы органов**. Система — это ряд органов, имеющих общий план строения, единство происхождения и выполняющих одну большую функцию (например, пищеварения, дыхания). В организме человека выделяют следующие системы органов: *пищеварения (пищеварительную), дыхания (дыхательную), мочевыделительную, половую, нервную, кровеносную, лимфатическую и иммунную (органы кроветворения и иммунной системы), органы чувств (сенсорные системы)*.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение ткани.
2. Какие виды эпителия вам известны, в каких органах они встречаются?
3. Перечислите разновидности соединительной ткани, дайте каждой из них морфологическую характеристику.
4. Какие виды клеток встречаются в рыхлой волокнистой соединительной ткани?
5. Назовите клетки костной ткани и дайте им анатомическую характеристику.
6. Перечислите виды мышечной ткани, охарактеризуйте их.
7. Что такое нервная клетка? Какие части у нее выделяют?
8. Какие функции выполняет эпителиальная ткань?
9. Какие функции выполняет мышечная ткань?
10. Дайте определение органу, системе органов, аппарату органов.

12.2. Пищеварение

12.2.1. Питание и пищеварение

Обогащение организма энергией и структурными элементами происходит за счет пищи, которую человек получает в течение суток. Пища является связующим звеном организма с природой. Таким образом, организм, пища и внешняя среда образуют единое целое.

Питание является важнейшим фактором, направленным на поддержание и обеспечение таких основных процессов, как рост, развитие и способность к активной деятельности.

Пищеварение — важнейший физиологический процесс, в результате которого сложные пищевые вещества пищи под воздействием механической и химической обработки превращаются в простые, растворимые и, следовательно, усвояемые вещества.

Механическая обработка пищи заключается в ее измельчении, перетирании, перемешивании пищи до состояния кашицы.

Химическая обработка пищи заключается в переработке ее с помощью пищеварительных соков, содержащих пищеварительные ферменты.

Пищеварительная система выполняет следующие функции:

секреторную — выработка пищеварительных соков: слюны; желудочного, поджелудочного и кишечного сока;

механическую — захват и перемещение пищи по пищеварительному каналу;

всасывательную — переход питательных веществ, воды и минеральных веществ в кровь или лимфу;

защитную — предупреждение проникновения во внутреннюю среду организма чужеродных веществ.

Сложные сахара и крахмал (полисахариды) превращаются в простейшие сахара (моносахариды), жир — в глицерин и жирные кислоты, белки — в аминокислоты. После расщепления питательные вещества теряют свою видовую специфичность и становятся исходным материалом для синтеза веществ, свойственных структуре человеческого организма.

Строение желудочно-кишечного тракта на всем протяжении однотипно, он имеет три слоя:

1) наружный — серозный — плотная оболочка, которая в основном имеет защитную функцию;

2) средний — мышечная ткань участвует в сокращении и расслаблении стенки органа;

3) внутренний — оболочка, покрытая слизистым эпителием, позволяет простым пищевым веществам всасываться через ее толщу; слизистая оболочка часто имеет железистые клетки, которые вырабатывают *пищеварительные соки* или *ферменты*.

Ферменты — вещества белковой природы. В желудочно-кишечном тракте имеют свою специфичность: белки расщепляются только под воздействием протеаз, жиры — липаз, углеводы — карбогидраз. Каждый фермент активен только при определенной рН среды.

12.2.2. Питательные вещества и их превращение в различных отделах пищеварительного тракта

Процесс пищеварения осуществляется в желудочно-кишечном тракте, общая длина которого 5—6 м. Пищеварительный тракт представляет собой трубку, в некоторых местах расширенную. Желудочно-кишечный тракт начинается в ротовой полости, далее пища поступает в *глотку* (рис. 12.1) и пищевод, которые осуществляют только транспортную функцию. Пищевой комок опускается в желудок, далее в тонкий кишечник, состоящий из двенадцатиперстной кишки, тощей и подвздошной кишки, где в основном происходит окончательный гидролиз (расщепление) пищевых веществ, которые через стенку кишечника всасываются в кровь или лимфу. Тонкий кишечник переходит в толстый, где практически отсутствует процесс пищеварения, но функции толстого кишечника также очень важны для организма (рис. 12.2).

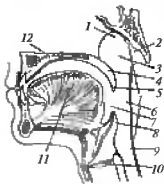


Рис. 12.1. Схема строения глотки:

1 — свод глотки; 2 — глоточная (аденоидная) миндалина; 3 — носовая часть глотки; 4 — мягкое небо (нёбочная занавеска); 5 — нёбочный язычок; 6 — ротовая часть глотки; 7 — зев; 8 — надгортанник; 9 — гортанная часть глотки; 10 — голосовая щель; 11 — язык; 12 — твердое небо

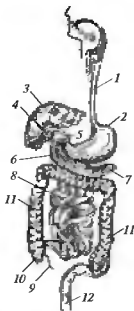


Рис. 12.2. Органы пищеварения человека

- 1 — пищевод; 2 — желудок; 3 — печень; 4 — желчный пузырь;
 5 — желчный проток; 6 — двенадцатиперстная кишка; 7 — поджелудочная железа; 8 — тонкая кишка; 9 — червеобразный отросток;
 10 — слепая кишка; 11 — толстая кишка; 12 — прямая кишка

Пищеварение в ротовой полости

В ротовой полости пища пережевывается и смачивается слюной. Хорошее размельчение пищи имеет большое значение для ее дальнейшего переваривания. К химическим раздражителям секреции слюны относятся химические вещества, входящие в состав пищи — соленое, горькое, кислое. Степень секреции зависит от силы действия раздражителя и его концентрации в пище.

К механическим раздражителям относятся пищевые вещества, поступающие в обезвоженном виде, т.е. сухие, например сухари.

Термические раздражители также играют значительную роль в слюноотделении. установлено, что наибольшую секрецию слюны вызывает вода, имеющая температуру 55—60 °С. Наконец, хорошо известно условно-рефлекторное, или «психическое», возбуждение секреции слюны, которое наступает от вида пищи, ее запаха.

В ротовой полости расположены три пары крупных желез: околоушных, подъязыковых и подчелюстных. Эти железы выделяют в ротовую полость слюну, а в кровь — некоторые соединения, влияющие на обмен веществ в других органах и тканях (см. рис. 12.1).

Слюна содержит 99,4—99,5% воды, высококовязкий мукопротеид — муцин, обволакивающий куски пищи, чтобы они становились скользкими и легко проходили по пищеводу; ферменты; ряд минеральных веществ (Na, K, Ca, Mg, P, Cl и др.); антибактериальные соединения (белок лизоцим); некоторые продукты метаболизма; pH слюны составляет примерно 7,5.

Основным ферментом слюны является α -амилаза; она катализирует гидролиз крахмала до мальтозы, которая может дальше расщепляться благодаря наличию в слюне небольшого количества мальтозы. Ферменты слюны активны в нейтральных и слабощелочных средах.

Секреция слюны происходит непрерывно в количестве около 1500 мл/сут.

В ротовой полости происходит начальное пищеварение, когда пища в течение 15—20 °C тщательно пережевывается.

Из-за кратковременности пребывания пищи в ротовой полости пищевые белки и жиры практически не изменяются.

При глотании надгортанник закрывает ход в дыхательные пути и пищевой комок попадает в пищевод, по которому, благодаря сокращениям его стенок, продвигается в желудок. Продолжительность продвижения жидкой пищи по пищеводу в среднем составляет 1—2 с, плотная пища проходит медленнее — 8—9 с.

Пищеварение в желудке

В желудке (рис. 12.3) происходит перемешивание пищи с желудочным соком, превращение ее в полужидкую кашу (химус) и медленное опорожнение желудка переходом химуса в двенадцатиперстную кишку.

Емкость желудка новорожденного невелика — около 20 мл; у взрослых — до 3 л. Пища может находиться в желудке от 3 до 10 ч. В толще его слизистой оболочки находится около 14 млн трубчатых желез, продуцирующих желудочный сок. За сутки его выделяется около 2—2,5 л. Желудочный сок представляет собой бесцветную жидкость, резко кислую на вкус из-за содержания соляной кислоты, концентрации которой — 0,4—0,5%. Кроме того, в желудке содержится от 1,4 до 9,7 мг молочной кислоты. Из минеральных веществ в желудочном соке имеются хлористый натрий и калий, хлористый аммоний, небольшое количество фосфатов и сульфатов.

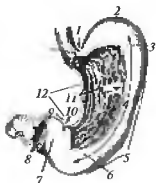


Рис. 12.3. Желудок (вскрыта его передняя стенка).

1 — кардиальная вырезка, 2 — дно желудка, 3 — передняя стенка, 4 — тело желудка; 5 — большая кривизна желудка, 6 — желудок, 7 — привратниковая пещера, 8 — канал привратника, 9 — привратниковая (пилорическая) часть, 10 — угловая вырезка, 11 — канал желудка, 12 — малая кривизна желудка, 13 — кардиальное отверстие, 14 — кардиальная часть

Соляная кислота желудочного сока вызывает денатурацию и набухание белков, активизирует пепсиноген, переводя его в пепсин, обладает бактерицидным действием, задерживает развитие гнилостных процессов в желудке.

Основное значение принадлежит расщепляющим белок ферментам — протеазам. Пепсин и гастрин расщепляют белки до полипептидов различной степени сложности. Ренин, называемый химозинном, или сычужным ферментом, осуществляет свертывание белка молока в желудке детей. Желатиназа ограничивает свое действие расщеплением желатина белка, входящего в состав соединительной ткани (хрящи, сухожилия).

В составе желудочного сока находится липаза, обладающая способностью гидролизировать жир, но гидролизующая в желудке только эмульгированный жир до глицерина и жирных кислот.

Желудок не содержит ферментов, способных переваривать углеводы.

Дольше всего в желудке задерживаются жиры, несколько меньше — белки. Быстрее всего из желудка уходят углеводы.

Выход из желудка закрыт сфинктером, состоящим из кольцевых мышц. После того как пищевая кашица пропитается кислым желудочным соком, сфинктер расслабляется и пропускает ее в кишечник. Соляная кислота является раздражителем, обуславливающим рефлекторное расслабление сфинктера, в результате чего порция пищи переходит в двенадцатиперстную кишку. Затем сфинктер закрывается

и не открывается до тех пор, пока под влиянием кишечного сока, сока поджелудочной железы и желчи реакция в двенадцатиперстной кишке не станет щелочной.

Пищеварение в тонком кишечнике

Кишечник (рис. 12.4) — это отдел пищеварительного тракта, который начинается от желудка и кончается заднепроходным отверстием. Длина кишечника у человека достигает 7 м. Протяженность тонкой кишки примерно 5 м. Она состоит из двух частей: короткой — двенадцатиперстной и длинной — брыжеечной. Двенадцатиперстная кишка названа так потому, что длина ее равна сумме поперечников 12 пальцев, т.е. приблизительно 25—30 см. Тонкая кишка многократно изгибается, ее петли плотно размещаются в полости живота и отчасти таза. Спереди они прикрыты большим сальником. Благодаря сокращениям мышечной оболочки тонкой кишки пищевая масса перемешивается и транспортируется в сторону толстой кишки и из нее извлекаются нужные для организма вещества.

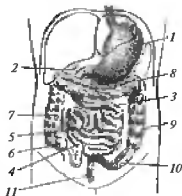


Рис. 12.4. Строение кишечника.

- 1 — желудок; 2 — двенадцатиперстная кишка; 3 — тонкая кишка;
 4 — подвздошная кишка; 5 — петля тонкой кишки; 6 — слепая кишка;
 7 — восходящая ободочная кишка; 8 — поперечная ободочная кишка;
 9 — нисходящая ободочная кишка; 10 — сигмовидная кишка; 11 — прямая кишка

В тонком кишечнике происходит расщепление пищевых веществ до конечных продуктов их переваривания и их всасывание.

После переваривания в желудке пищевая кашка небольшими порциями поступает в начальный отдел тонких кишок — двенадцатиперстную кишку, где пищевая масса подвергается активному воздей-

ствию пищеварительных соков поджелудочной железы, печени и слизистой оболочки самой кишки.

Поджелудочная железа — пищеварительный орган, состоящий из клеток, образующих дольки, которые имеют выводные протоки, соединяющиеся в общий проток. По этому протоку пищеварительный сок поджелудочной железы поступает в двенадцатиперстную кишку (до 0,8 л в сутки).

Пищеварительный сок поджелудочной железы представляет собой бесцветную прозрачную жидкость щелочной реакции. В его состав входят ферменты: трипсин, химотрипсин, липаза, амилаза, мальтаза. Трипсин и химотрипсин расщепляют белки, пептоны, альбумозы, поступившие из желудка, до полипептидов. Липаза с помощью желчи расщепляет жиры пищи до глицерина и жирных кислот. Амилаза и мальтаза расщепляют крахмал до глюкозы. Кроме того, в поджелудочной железе есть специальные клетки (островки Лангерганса), вырабатывающие *гормон инсулин*, поступающий в кровь. Этот гормон регулирует углеводный обмен, способствуя усвоению сахара организмом. При отсутствии инсулина возникает сахарный диабет.

Второй железой, выделяющей продукт своей деятельности — **желчь**, в двенадцатиперстную кишку, является **печень**. Желчь — это жидкость золотисто-желтого цвета, имеющая щелочную реакцию (рН 7,3—8,0). У здорового человека в сутки выделяется 500—1200 мл желчи. В ее составе 97,5% воды, 2,5% сухого остатка, в который входят желчные кислоты, пигменты и холестерин. Усиливают желчеобразование соляная кислота, яичные желтки, молоко, хлеб, клетчатка и пектиновые вещества, соли магния, теплая пища, а тормозят процесс холод, голод, перегревание организма, недостаточность кислорода.

Желчь выполняет многообразные **функции**, связанные с деятельностью желудочно-кишечного тракта:

- 1) активизирует ферменты сока поджелудочной железы, особенно липазу, действие которой увеличивается в 20 раз;
- 2) усиливает секрецию поджелудочного сока и моторику, т.е. сократительную деятельность стенок кишечника;
- 3) желчь способствует всасыванию жирных кислот, образуя с ними водорастворимые соединения;
- 4) осуществляет эмульгирование всех неэмульгированных пищевых жиров, что способствует их последующему расщеплению ферментом липазой до конечных продуктов переваривания;
- 5) желчь участвует в пристеночном пищеварении;
- 6) желчь оказывает бактериостатическое действие на кишечную флору, предупреждая развитие гнилостных процессов.

Необходимо отметить, что печень выполняет еще и гликогенобразовательную функцию: большая часть поступившей в кровь глюкозы задерживается в клетках печени и превращается в сложное соединение — полисахарид, гликоген и откладывается как запасной материал, а при надобности, например при усилении мышечной работы, гликоген печени распадается на глюкозу, поступающую в кровь и используемую организмом. Печень выполняет также защитную и обезвреживающую функции. Вся кровь от кишечника, желудка поступает в воротную вену и через нее в печень.

В ней могут содержаться и ядовитые вещества — индол, скэтол, фенол и другие, и, проходя через печень, эти вещества теряют свои ядовитые свойства.

Кишечный сок представляет собой бесцветную мутноватую жидкость слабощелочной реакции (рН 7,2—7,5).

Имеющиеся в составе кишечного сока различные полипептидазы расщепляют продукты переваривания белков (полипептидов) до аминокислот, а ферменты амилаза, мальтаза, лактаза — все продукты переваривания углеводов до глюкозы. Липаза завершает расщепление жиров на глицерин и жирные кислоты. В тонком кишечнике завершается этап механической и химической обработки пищи.

Слизистая оболочка тонких кишок имеет множество складок, выпячиваний, образующих ворсинки, микроворсинки, обращенные в полость кишечника, они резко увеличивают поверхность стенок до 5 м². Благодаря этому обеспечиваются интенсивные процессы переваривания и всасывания продуктов гидролиза в кровеносные и лимфатические капилляры, которыми обильно снабжена стенка тонкого кишечника. В пространство, занятое микроворсинками, не могут проникнуть микроорганизмы, находящиеся в полости кишечника; следовательно, эти структуры слизистой оболочки выполняют и барьерную функцию.

В кишечном соке содержится до 22 ферментов, довершающих гидролиз сложных пищевых веществ, в том числе связанных форм витаминов. Эти ферменты локализованы не только в полости кишки, но и на поверхности микроворсинок, где происходит *пристеночное*, или *контактное*, пищеварение. Пристеночное пищеварение эффективнее полостного, так как при этом не происходит потерь пищевых веществ в результате деятельности микроорганизмов, а также обеспечивается более быстрое всасывание (поскольку на микроворсинках гидролазы пространственно сближены со специфичными переносчиками, транспортирующими нутриенты в кровь и лимфу).

Универсальным физиологическим процессом, связанным с переходом разного рода веществ во внутреннюю среду, является **всасывание**, происходящее на всем протяжении пищеварительного канала. Хорошо всасываются в ротовой полости некоторые лекарственные вещества, в желудке — вода, минеральные соли, моносахара, алкоголь, лекарственные вещества, гормоны, альбумозы, пептоны, в двенадцатиперстной кишке — вода, минеральные вещества и гормоны, продукты расщепления белка, в толстом кишечнике — вода и минеральные вещества.

Пищеварение в толстом кишечнике

Непереваренная невсосавшаяся часть пищи из тонкого кишечника переходит в толстый. В нем частично продолжается процесс переваривания за счет действия ферментов пищеварительных соков, которыми пропиталось кишечное содержимое в тонком кишечнике. Секрет слизистой оболочки толстого кишечника имеет **резкощелочную реакцию** (рН 8,5—9,0) и содержит 98,5% воды, 0,63% органических и 0,68% неорганических веществ. В нем присутствуют отторгнутые клетки эпителия, лимфоциты, слизь, а также небольшое количество ферментов (пептидаза, липаза, амилаза, щелочная фосфатаза).

Толстый кишечник обильно населен микрофлорой, выполняющей полезные функции: она защищает организм от болезнетворных микроорганизмов, препятствуя их жизнедеятельности и размножению, в силу явления антагонизма; стимулирует деятельность защитных механизмов, формирующих иммунные барьеры против чужеродных веществ; синтезирует некоторые витамины, частично используемые организмом: пантотеновую кислоту, фолацин, ниацин, инозит, блотин, витамины **В₆** и **К**; участвует в кругообороте стероидных гормонов, освобождая их из эфиров, после чего они частично возвращаются в кровяное русло.

В толстом кишечнике идет формирование каловых масс и обратное всасывание воды через стенку кишки в кровь. Формированию кала способствуют комочки слизи кишечного сока, которые склеивают непереваренные частицы пищи. В состав кала входят отмершие клетки кишечника, желчные пигменты и в большом количестве (30—55%) бактерии.

У взрослого человека с каловыми массами за сутки выделяется около 480 млрд бактерий. Каловые массы накапливаются в сигмовидной кишке. При акте дефекации они выделяются из организма человека через прямую кишку.

12.2.3. Факторы, наносящие вред процессу пищеварения

Желудочно-кишечный тракт представляет собой огромную поверхность, которая постоянно контактирует с внешней средой, подвергаясь ее многочисленным пагубным воздействиям. Вредными для всей пищеварительной системы, и кишечника в частности, являются неправильное, нерегулярное питание, употребление недоброкачественных продуктов, некоторых лекарств, ядовитых веществ, стрессы, малоподвижный образ жизни и т.п.

Безусловно, многие из нас грешат *неправильным режимом и рационам питания*. В их меню нередко преобладают рафинированные продукты: белый сахар, мучные изделия, макароны, которые практически полностью усваиваются организмом без участия пищеварительных ферментов. При таком питании «возможности» желудочно-кишечного тракта оказываются не востребованными и неизбежно возникают запоры, метеоризм, воспалительные изменения в кишечнике, развивается дисбактериоз, кал становится очень плотным, а процесс дефекации требует сильного напряжения. Частое употребление консервированных продуктов и полуфабрикатов приводит к избыточному поступлению в организм синтетических красителей, консервантов и других пищевых добавок, губительных для человека.

Мало кто из нас обращает внимание на то, сколько времени он проводит за столом: почти все мы вечно торопимся, *едим наспех, плохо пережевывая пищу* и проглатывая ее кусками. Недостаточно измельченная пища плохо переваривается, повреждает стенки желудка и кишок, требует большего количества ферментов и в результате дольше чем надо застаивается в желудке, вызывая процессы брожения, особенно при пониженной кислотности. Поспешная еда нарушает согласованность действия органов пищеварения и в конечном итоге приводит к развитию болезни.

Не менее опасно и *передание*. И дело не только в избыточном весе. Большое количество пищи требует увеличения объема выделяемых ферментов и времени на ее переработку. Люди, страдающие ожирением, часто малоподвижны и в большей степени подвержены заболеваниям кишечника. Так, ослабление мышц брюшного пресса приводит к развитию запоров. Слишком частые приемы пищи делают процесс пищеварения практически непрерывным: желудочно-кишечный тракт не справляется с такой нагрузкой, возникает сбой взаимосвязанных функций разных органов, и пища не переваривается должным образом. Попадание плохо переваренных пищевых масс в кишечник вызы-

вает процессы брожения, выработку токсичных продуктов, отравляющих организм, размножение патогенных микроорганизмов.

То же самое происходит *при систематической плотной еде перед сном*. Не забывайте, что ночью — все системы организма должны отдыхать.

Пищеварительная система весьма чувствительна и очень тонко реагирует на состояние эмоциональной и нервной системы человека. Неслучайно многие болезни желудка и кишечника являются следствием *стресса и нервно-психических нагрузок*.

Многообразие болезней кишечника и неблагоприятное воздействие на него факторов внешней и внутренней среды чревато появлением геморроя, усугубляют его развитие *хронические запоры*. Именно запоры вызывают затруднения дефекации, приводят к частому и сильному повышению давления в брюшной полости, в венах *таза* и прямой кишки, вызывая увеличение геморроидальных узлов. Профилактика развития геморроя, его обострений и осложнений, особенно *при наследственной предрасположенности к этому заболеванию*, заключается, прежде всего, в предупреждении запоров.

Хотя в развитии геморроя не последнее значение имеет наследственность, тем не менее во многом больные виноваты сами. Мало кто заботится о рациональном питании, физической нагрузке, да и вообще, следит за своим здоровьем. Поводом служат обстоятельства, и бешеный ритм жизни современного человека, но чаще всего — *невнимание к себе и элементарная лень*.

Курение также негативно влияет на весь организм, включая пищеварительную систему. Никотин, содержащийся в табаке, вызывает не только такие распространенные «табачные болезни», как бронхит, эмфизема легких, облитерирующий эндартериит. Всасываясь в кровь, никотин попадает во все сосуды, в том числе и в те, которые расположены в стенках желудка. Он вызывает их спазм, вследствие чего ткани желудка плохо снабжаются кровью, а значит, и кислородом и другими необходимыми веществами. Если человек курит много и в течение длительного времени, сосуды его желудка находятся в состоянии постоянного спазма, а это приводит к развитию гастрита или язвенной болезни.

Частое употребление даже небольшого количества алкогольных напитков отражается в первую очередь на функции печени и желудка. Раздражающий слизистую оболочку желудка алкоголь становится причиной не только гастрита, но и язвенной болезни. В печени вслед за ожирением — первой фазой ее алкогольного поражения — развивается алкогольный гепатит. Если же человек долгое время не избав-

ляется от пристрастия к спиртному, печеночные клетки погибают, замещаются соединительной тканью, наступает тяжелое необратимое состояние — цирроз печени.

Контрольные вопросы и задания

1. Что называется пищеварением?
2. Какие физические и химические изменения претерпевает пища в процессе пищеварения?
3. Из каких отделов состоит пищеварительная система?
4. Какие органы выделяют активные пищеварительные соки и каков их состав?
5. Опишите процессы пищеварения, происходящие в полости рта.
6. Опишите, каким изменениям подвергаются белки в различных отделах пищеварительного тракта.
7. Какие функции выполняет желчь?
8. Какой гормон выделяет поджелудочная железа? Какие процессы он регулирует в организме?
9. Дайте характеристику усвояемости пищевых веществ.
10. Перечислите факторы, наносящие вред процессу пищеварения.

12.3. Опорно-двигательная система

12.3.1. Строение костей и скелет человека

Опорно-двигательный аппарат выполняет защитную роль для внутренних органов и образует опору (каркас) организма, обеспечивает постоянную форму тела, определенное положение в пространстве, способность к движению, принимает участие в обмене солей кальция и фосфора, является кроветворным органом (красный костный мозг) (рис. 12.5).

При рождении в скелете ребенка насчитывается 300 костей, некоторые из них по мере роста ребенка срастаются.

После прекращения роста остается 207 костей, но их число может изменяться, потому что природа одним добавляет число позвонков шейной или поясничной области, а других награждает несращенным крестцом (в нижней части позвоночного столба).

Кстати, зародыш человека в течение нескольких недель имеет рудиментарный хвостик, состоящий из косточек, которые затем деградируют и превращаются в копчик.

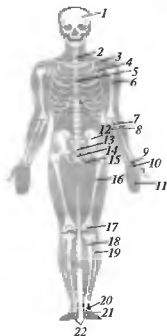


Рис. 12.5. Скелет человека (вид спереди)

1 — череп; 2 — позвоночный столб; 3 — ключица; 4 — ребро; 5 — грудина; 6 — плечевая кость; 7 — лучевая кость; 8 — локтевая кость; 9 — кости запястья; 10 — пястные кости; 11 — фаланги пальцев кисти; 12 — подвздошная кость; 13 — крестец; 14 — лобковая кость; 15 — седалищная кость; 16 — бедренная кость; 17 — надколенник; 18 — большеберцовая кость; 19 — малоберцовая кость; 20 — кости предплюсны; 21 — плюсневые кости; 22 — фаланги пальцев стопы

Скелет весит 17 кг и состоит из плоских костей (лопаточных), длинных (бедренных) и коротких (коленная чашка). Стремя — самая маленькая косточка длиной 3 мм — находится в среднем ухе. Самая длинная кость — бедренная. У мужчины ростом 1,8 м она имеет длину 50 см.

Кости постоянно выдерживают большие нагрузки. Когда человек сидит, его нижние позвонки испытывают силу давления, равную той, которая действует на водолаза при его передвижении на глубине 170 м. Во время приземления атлета, прыгающего в длину, его бедренная кость подвергается нагрузке в 9000 кг.

Но иногда кость ломается при растяжении с силой от 1800 до 3600 кг/см² или сжатии — 5400 кг/см². Для правильного сращения костей требуется их фиксация на длительный срок (минимум

на 15 дней при переломе плечевой кости и максимум на 120 дней для ладьевидной кости запястья).

Высокая прочность костей обеспечивается его химическим составом: неорганические вещества представлены минеральными солями (CaCO_3 , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), а органические белками, оссеином и коллагеном.

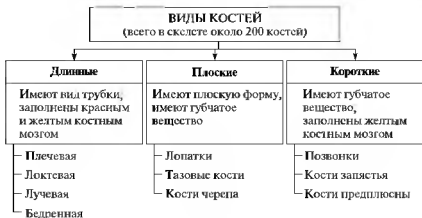


Рис. 12.6. Виды костей

Состав костей

Каждая кость состоит из нескольких видов тканей.

Основной составляющей частью кости является костная ткань. **Костная ткань** — это особый вид соединительной ткани, построенный из костных клеток и межклеточного вещества, имеющего пластинчатое строение.

Снаружи кость покрыта **надкостницей**, тонкой плотной оболочкой из соединительной ткани. Надкостница пронизана **нервами** и **кровеносными** и **лимфатическими сосудами**, проникающими по особым каналам в толщу костной ткани. Надкостница осуществляет зарастание переломов кости.

На суставных поверхностях надкостница прерывается, и ее место занимает **хрящ**. **Хрящ** — это тоже разновидность соединительной ткани. Округлые клетки хряща погружены в межклеточное вещество, содержащее многочисленные волокна особых белков — коллагена и эластина. Хрящ не имеет собственной сосудистой сети и нервов и питается в основном из суставной жидкости.

Внутри костей находится костный мозг. Различают **красный костный мозг** с преобладанием кроветворной ткани, поставляющей орга-

низу новые кровяные клетки, и **желтый костный мозг** с преобладанием жировой соединительной ткани. Красный костный мозг заполняет полости в губчатом веществе костей, а желтый — только центральные полости трубчатых костей.

Рост костей происходит:

- в длину — за счет деления клеток хрящевой ткани головок костей;
- в ширину — за счет деления клеток внутреннего слоя надкостницы.

Кроме того, костные пластинки постоянно разрушаются специальными клетками и образуются вновь благодаря работе костных клеток (остеоцитов). Этот процесс происходит в течение всей жизни человека. С помощью меченых атомов ученые установили, что в течение года у взрослого человека дважды происходит замена вещества кости.

Непрерывное соединение костей — это неподвижные или полуподвижные сочленения костей.

Неподвижные соединения костей — это срастание костей или соединение костей швами, когда между соединяющимися костями расположена очень тонкая прослойка соединительной ткани. Например, крестец образован пятью сросшимися в единое образование позвонками, а кости черепной коробки (мозгового отдела) неподвижно соединены между собой швами.

Полуподвижное соединение костей — соединение костей, осуществляемое через хрящевые прокладки, обладающие упругостью и эластичностью. Непрерывные полуподвижные соединения имеются между позвонками позвоночного столба.

12.3.2. Строение и движение мышц и их регуляция

Мышцы — активная часть опорно-двигательного аппарата. Они удерживают тело в вертикальном положении, позволяют принимать разнообразные позы. Мышцы живота поддерживают и защищают внутренние органы, т.е. выполняют опорную и защитную функции. Мышцы входят в состав стенок грудной и брюшной полостей, в состав стенок глотки, обеспечивают движения глазных яблок, слуховых косточек, дыхательные и глотательные движения, поэтому неудивительно, что масса скелетной мускулатуры у взрослого человека весит 28 кг. Мышцы составляют 40% веса тела, т.е. 28 кг у человека весом 70 кг.

Самая крупная в человеческом организме — большая ягодичная мышца (это треугольник со сторонами по 20 см), придающая форму ягодице и обеспечивающая расширение бедра и подвижность ноги.

Самая маленькая (меньше 1,27 мм) — мышца *stapedius*, приводящая в движение косточку в среднем ухе (стремя). Но большие и маленькие, произвольные и непроизвольные мышцы имеют одинаковое строение: в одном кубическом сантиметре содержится 200 мышечных волокон и 700 капилляров.

Мимику обеспечивают 18 лицевых мышц, среди которых имеются мышцы «плача» (опускающие вниз черты лица) и «смеха» (поднимающие черты лица).

Мышечная реакция делится на несколько этапов. Например, если муха щекочет лоб и вы хотите ее прогнать, команда из мозга за $\frac{1}{100}$ с достигает руки и кисти; мышечное сокращение длится $\frac{4}{100}$ с; рука расслабится еще через $\frac{5}{100}$ с. Между прочим, если вы делаете упражнения для брюшного пресса и хотите удержать ноги вытянутыми вверх, из головного мозга будет поступать 40 команд в секунду.

Строение мышц

Каждая мышца является отдельным органом, т.е. целостным образованием, имеющим свою определенную, присущую только ему форму, строение, функцию, развитие и положение в организме.

Снаружи мышца покрыта соединительнотканной оболочкой — *фасцией*.

Каждая мышца связана нервами с центральной нервной системой; кроме того, в мышцу проникают кровеносные сосуды. Нервы и сосуды разветвляются в толще мышцы соответственно мышечным пучкам, которые состоят из мышечных волокон.

В мышце различают активно сокращающуюся часть — *брюшко* — и пассивную часть, при помощи которой она прикрепляется к костям, — *сухожилие*. Сухожилия состоят из плотной волокнистой ткани и обладают высокой прочностью.

Скелетные мышцы состоят из пучков поперечнополосатых волокон, *мышечные пучки* объединяются соединительнотканной оболочкой, которая на концах мышцы переходит в сухожильные части мышцы. Строение скелетной мышцы схематично можно представить так:

Мышца → Пучок мышечного волокна →
→ Мышечное волокно → Миофибрилла.

Мышечные пучки состоят из *мышечных волокон*.

Строение мышечного волокна

Мышечное волокно — минимальный структурный элемент мышцы. Снаружи оно окружено тонкой оболочкой из соединительной

ткани, а внутри содержит многочисленные тонкие сократительные нити — *миофибриллы* и множество ядер. Каждая миофибрилла состоит из тончайших белковых нитей и способна сокращаться. Нити построены из особых сократительных белков — *актина* и *миозина*.

Классификация мышц по функциям:

- мышцы-сгибатели;
- мышцы-разгибатели;
- мышцы-приводящие;
- мышцы-отводящие;
- мышцы-вращатели;
- мышцы-синергисты (разные мышцы, участвующие в одном движении);
- мышцы-антагонисты (мышцы, участвующие в противоположных движениях).

Физические качества мышц характеризуются следующими показателями:

- *сила* — величина максимального напряжения;
- *скорость сокращения* — время, за которое мышца сокращается и расслабляется;
- *выносливость* — способность поддерживать заданный ритм работы;
- *тонус мышц* — состояние постоянного напряжения;
- *утомление* — потеря работоспособности мышцы по мере выполнения работы;
- *наибольшая работоспособность* мышц достигается при среднем ритме, средней нагрузке, чередования физических нагрузок и активного отдыха.

12.3.3. Причины нарушения осанки и развитие плоскостопия

Осанка — это привычное положение тела при стоянии, сидении и ходьбе. Она зависит от формы позвоночного столба, положения головы, плечевого пояса и грудной клетки. При правильной осанке — спина прямая, голова слегка откинута назад, плечи расправлены, живот втянут. Это способствует нормальному функционированию внутренних органов и органов дыхания.

Неправильное положение костей приводит к смещению или сдавливанию внутренних органов, что нарушает их кровоснабжение и затрудняет работу. Привычка горбиться, сутулиться, неправильно сидеть за столом может привести к неравномерному распределению нагрузок на отдельные позвонки. В этом случае с возрастом межпозвоночные

хрящевые диски истончаются, деформируются и смещаются, защемляя нерв. Развивается болезнь — *остеохондроз*: человеку трудно ходить и нагибаться, по ночам его мучают боли, и он не может уснуть. Болезнь может начаться и в молодом возрасте (до 30 лет).

Различают *три степени нарушения осанки*. При первой степени отклонения от нормы слабо выражены и исчезают, если человек старается держаться прямо и контролирует себя. При второй степени отклонения от нормы устойчивы, но, как правило, связаны лишь с нарушениями мышечного аппарата, а потому поддаются исправлению при занятиях лечебной физкультурой и *корригирующей гимнастикой*. Искривления третьей степени затрагивают скелет, поэтому лечению они поддаются с трудом.

Как же предупредить искривление позвоночника? Прежде всего, надо правильно сидеть за столом (рис. 12.7). Если стол слишком низок, приходится наклоняться над ним, а если высок, человек изгибает туловище так, чтобы пишущая рука была на его поверхности. Первое ведет к сутулости, второе — к боковым искривлениям туловища. К нарушению осанки может привести и несимметричная нагрузка мышц: например, носить тяжести только в правой руке, при физической зарядке наклоняться в одну сторону больше, чем в другую, и т.п.



Рис. 12.7. Неправильные (а, б) и правильная (в) позы учащихся



Рис. 12.8. Метод определения плоскостопия

Предупреждение и лечение плоскостопия. *Плоскостопием* называются болезненные изменения стопы, при которых уплощаются ее своды (рис. 12.8). Причиной плоскостопия могут стать неправильно подобранная обувь, длительное хождение или стояние, избыточная масса тела. При плоскостопии нарушается мышечный и связочный аппараты стопы. Она расплывается, отекает. Возникают боли в стопе, голени, бедре и даже в пояснице.

При значительно выраженном плоскостопии применяют специальные стельки — супинаторы.

Они поддерживают стопу в нужном положении. Это не только улучшает положение костей стопы, но и костей голеностопного, коленного и тазобедренного суставов.

Контрольные вопросы и задания

1. Какую роль играет опорно-двигательный аппарат в жизнедеятельности человека?
2. Перечислите виды и состав костей.
3. Дайте характеристику различным видам соединения костей.
4. Назовите основные функции мышц.
5. Расскажите, как устроена скелетная мышца.
6. Как различаются мышцы по их функциям?
7. Какими показателями характеризуются физические качества мышц?
8. Какими симптомами характеризуется болезнь остеохондроз?
9. Охарактеризуйте три степени нарушения осанки.
10. В чем заключается предупреждение и лечение плоскостопия?

12.4. Внутренняя среда организма

12.4.1. Основные функции крови

Кровь — это жидкая соединительная (опорно-трофическая) ткань, клетки которой называются форменными элементами (эритроциты, лейкоциты, тромбоциты), а межклеточное вещество — плазмой (рис. 12.9). Ваша кровь знает и может рассказать о вас все: что вы едите, какой образ жизни ведете, в порядке ли обмен веществ, иммунная система и наследственность, в каком состоянии сердце, сосуды, печень и другие органы, какие болезни уже имеются или разовьются в будущем — обо всем этом расскажет капля крови. Помимо медицинских данных она выдаст и паспортные — приблизительный возраст, пол и даже национальную принадлежность.

Красная жидкость кормит, поит, защищает, удаляет биологический мусор, осуществляет мобильную связь между клетками тела и сохраняет постоянство внутренней среды организма — словом, выполняет *семь важнейших функций*, определяющих наше самочувствие:

- 1) **транспортная функция** — через систему больших и малых кровеносных сосудов кровь доставляет тканям все необходимое для их жизнедеятельности — кислород, воду, питательные вещества, соли и витамины;

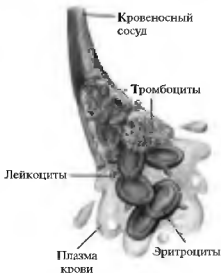


Рис. 12.9. Состав крови

- 2) **питательная функция** — кровь — кормилец организма. Аминокислоты, углеводы, жиры и другие необходимые клеткам компоненты поступают в них из кровеносного русла;
- 3) **очистительная функция** — кровь уносит из тканей отходы — углекислоту и продукты обмена веществ, которые затем выводятся наружу через легкие, почки, кишечник и кожу;
- 4) **защитная функция** — лейкоциты (белые клетки крови) являются важнейшим звеном иммунной системы — они распознают и уничтожают вирусы, аллергены, переродившиеся клетки и другие чужеродные для организма частицы;
- 5) **связующая функция** — благодаря своей подвижности кровь обеспечивает постоянное взаимодействие между всеми органами и системами организма;
- 6) **терморегулирующая функция** — кровь — это суперкондиционер. Она забирает излишки тепла у активно работающих органов (сердца, мышц, печени) и перераспределяет его между органами, нуждающимися в дополнительной энергии (головным мозгом, легкими, почками, кожей);
- 7) **стабилизирующая функция** — именно кровь отвечает за то, чтобы все необходимые для жизнедеятельности элементы и соединения присутствовали в нужном количестве.

Кровь составляет 7—8% массы тела, т.е. 5,2 кг при весе человека 65 кг. Кровь на 45% состоит из эритроцитов, а на 55% — из плазмы.

Плазма — это жидкость светло-желтого цвета, на 90% состоящая из воды, белков, различных солей, углеводов, липидов, ферментов, гормонов, глюкозы. Основное назначение плазмы — транспортировать эритроциты, лейкоциты и тромбоциты. Таким образом, из 5 л крови 2,5 л приходится на воду. Плазма, лишенная фибриногена, называется сывороткой.

Лейкоциты, или белые кровяные тельца, выполняют защитную функцию. В 1 мм³ крови содержится от 5000 до 9000 лейкоцитов. Средний размер лейкоцита 15 микрон, а всего их содержится в организме 35 млрд.

Тромбоциты, или кровяные пластинки, принимают участие в свертывании крови. В 1 мм³ крови их насчитывается 200 000—300 000, а средний размер каждого тромбоцита — 3 микрона. Таким образом, общее число тромбоцитов в организме человека — 1250 млрд.

Эритроциты, или красные кровяные тельца, поглощают кислород в легких, транспортируют и отдают его тканям и органам, а также переносят двуокись углерода в легкие. В каждом кубическом миллиметре крови содержится 25 млн эритроцитов, а всего в организме человека — 25 000 млрд эритроцитов.

Где рождается кровь?

У взрослого человека главным органом кроветворения является красный костный мозг, расположенный в костях черепа, позвоночника, грудины и бедер, а так же в головках крупных трубчатых костей. Костный мозг вырабатывает все типы лейкоцитов, эритроцитов и тромбоцитов. Лейкоциты (белые кровяные клетки) вырабатываются в селезенке и лимфатических узлах.

Сложная система транспортировки крови

Кровь приводится в движение сокращениями сердца и циркулирует по разветвленной системе сосудов. Крупные сосуды, по которым кровь движется к органам и тканям, называются *артериями*. Артерии разветвляются на более мелкие артерии, *артериолы*, и, наконец, на *капилляры*. По сосудам, называемым венами, кровь возвращается в сердце.

Артерии и *вены* служат исключительно для транспортировки крови, тогда как самые тонкие сосуды — *капилляры* — отвечают за обмен веществ между кровью и всеми тканями организма. В организме человека насчитывается до 160 млрд капилляров, общей протяженностью около 100 тыс. км.

12.4.2. Кровеносная система

Кровообращение — это непрерывное движение крови по замкнутым полостям сердца и кровеносным сосудам. Кровеносная система человека замкнутая, имеет два круга кровообращения. Эта система включает сердце и кровеносные сосуды (рис. 12.10).

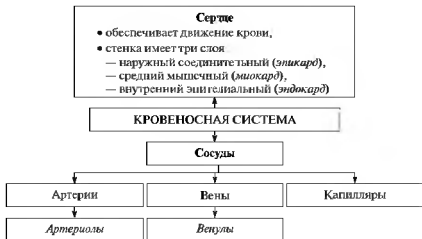


Рис. 12.10. Кровеносная система

Масса сердца колеблется в пределах 200—400 г. По объему сердце сопоставимо с кулаком (750 см³). Сердце сокращается ритмично, но эта ритмичность меняется в течение жизни и составляет: 125 ударов в минуту в возрасте одного года, 105 ударов — в два года, 100 — в три года, 97 — в четыре, 92 — с пяти до десяти, 78 — с 10 до 15 лет, 70 — с 15 до 50, 74 — с 50 до 60, 79 — с 60 до 80 лет. Значит, среднее за всю жизнь число составляет 75 сердцебиений в минуту. Для сравнения заметим, что сердце мыши бьется с частотой 500 ударов в минуту, а у слона эта величина — всего 25 ударов в минуту.

Сердце мужчины, бьющееся с частотой 75 ударов в минуту, производит 4500 сокращений в час и 108 000 в сутки. Таким образом, от рождения до смерти сердце мужчины бьется 2 800 000 раз, а сердце женщины — 3 100 000 раз.

Заметим, что сердце является мощным насосом, перекачивающим кровь через артерии и вены. **Объем крови**, перекачиваемый сердцем за одну минуту, составляет 6 л (со скоростью кровотока 2 км/ч, т.е. путь крови от руки до языка занимает 15 с, от одной кисти до другой — 13 с и от бедра до стопы — 2 с), но может достигать и 30 л/мин, если сердце

переполняется кровью, например, когда человек находится в состоянии возбуждения или выполняет большую физическую нагрузку.

В состоянии покоя сердце перекачивает 360 л крови в час, 8640 л за сутки (т.е. 15 т), 3 153 600 л за год.

На протяжении жизни сердце мужчины пропускает через себя 224 млн л крови, а сердце женщины — 249 млн, а это эквивалентно количеству воды, вытекаемой из реки Сены за 10 мин.

Артерии (греч. *arteria*, от *aer* — воздух, *tereō* — содержать, дыхательное горло) — сосуды, несущие кровь от сердца ко всем органам и тканям тела. Их основными функциями являются: быстрая доставка крови к органам и тканям, а также обеспечение высокого давления, необходимого для поддержания непрерывного тока крови через капилляры.

Строение артерий соответствует функциям. Как крупные артерии, так и мелкие артериолы представляют собой эластичные трубки, стенки которых состоят из трех оболочек. Их полость выстлает пласт плоских клеток — однослойный *эндотелий*. Средняя оболочка состоит из гладкомышечных клеток и эластических волокон, которые способны обеспечивать расширение и сужение просвета сосудов. Внешняя оболочка состоит из соединительной ткани, где проходят нервные волокна.

Давление крови в артериальной системе пульсирующее. Несмотря на порционность поступления крови в артерии, она безостановочно движется по сосудам благодаря эластичности стенок артерий и их способности изменять диаметр просвета сосудов. Периодическое толчкообразное расширение стенок артерий, синхронное с сокращениями сердца, называется **пульсом** (рис. 12.11).

Аорта (греч. *aeiro* — поднимаю) — самый большой непарный артериальный сосуд большого круга кровообращения. Начинается от левого желудочка расширением — луковичей. Аорту подразделяют на три отдела: восходящую часть аорты, дугу аорты и нисходящую часть аорты, которая, в свою очередь, делится на грудную и брюшную части.

Стенки аорты эластичны, благодаря чему она расширяется во время систолы, накапливая часть ударного объема крови, и сжимается во время диастолы, обеспечивая постоянный кровоток в периферических сосудах (см. рис. 12.11).

Вены (лат. *vena* — кровеносный сосуд, жила) — сосуды, несущие кровь от органов и тканей к сердцу. **Вены большого круга кровообращения** собирают кровь, насыщенную углекислотой, продуктами обмена веществ и другими веществами, от органов и частей тела и несут ее в правое предсердие. **Вены малого круга** обеспечивают отток обогащенной кислородом крови из легких в левое предсердие.

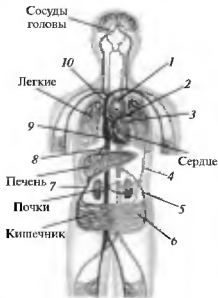


Рис. 12.11. Схема кровообращения (артериальная кровь изображена светло-серым цветом, венозная — темно-серым):

1 — аорта, 2 — легочная артерия, 3 — легочная вена; 4 — лимфатические сосуды; 5 — артерии кишечника, 6 — капилляры кишечника; 7 — воротная вена; 8 — почечная вена, 9 — нижняя и 10 — верхняя полая вены

Стенки вен устроены примерно так же, как стенки артерий, только средний слой стенки содержит меньше мышечных и эластических волокон, чем в артериях, а диаметр просвета больше.

В венах имеются полулунные клапаны, образованные складками внутренней оболочки, которые пронизаны эластическими волокнами. Клапаны вен препятствуют обратному току крови и таким образом обеспечивают ее движение только в одном направлении.

Кровоснабжение органов происходит за счет капиллярной сети.

Капилляры (лат. *capillaries* — волосной, волосковый) — самые тонкие (диаметр 0,005—0,007 мм), волосковые, и короткие (0,5—1,1 мм) кровеносные сосуды, состоящие из однослойного эпителия. Они располагаются в межклеточных пространствах, тесно прилегая к клеткам тканей и органов. В стенке капилляров имеются поры, через которые вода и растворенные в ней неорганические вещества (глюкоза, кислород и др.) могут легко переходить из плазмы крови в тканевую жидкость в артериальном конце капилляра. Продукты, образующиеся в результате жизнедеятельности организма (такие, как диоксид

углерода и мочевины), также могут проходить через стенку капилляра, но в обратном направлении — из тканевой жидкости в плазму для транспортировки их к месту выведения из организма.

В зависимости от потребности в кислороде и других питательных веществах разные ткани имеют разное количество капилляров. Такие ткани, как мышцы, потребляют большое количество кислорода и поэтому имеют густую сеть капилляров. С другой стороны — такие ткани, как эпидермис кожи, роговица глаза или суставной хрящ, вообще не имеют капилляров.

Сердце — центральный орган кровообращения, расположенный в грудной полости (рис. 12.12). Представляет собой полый мышечный орган, который окружен соединительнотканной оболочкой — *околосердечной сумкой*. Широкая часть сердца — основание — обращена вверх и вправо, узкая — верхушка — вниз и влево. Таким образом, в грудной полости сердце располагается асимметрично: $\frac{2}{3}$ в левой части, а $\frac{1}{3}$ в правой.

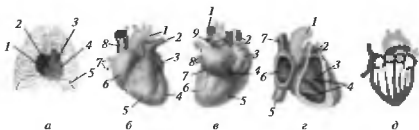


Рис. 12.12. Сердце и сосуды, связанные с сердцем.

а — положение сердца в грудной полости. 1 — правое предсердие, 2 — правый желудочек, 3 — левое предсердие, 4 — левый желудочек, 5 — диафрагма;
б — сердце с отходящими сосудами (вид спереди). 1 — аорта, 2 — легочная артерия, 3 — левое предсердие, 4 — левый желудочек, 5 — правый желудочек;
в — правое предсердие, 7 — легочные вены, 8 — верхняя полая вена; *в* — сердце с отходящими сосудами (вид сзади). 1 — аорта, 2 — верхняя полая вена, 3 — правое предсердие, 4 — нижняя полая вена, 5 — правый желудочек, 6 — левый желудочек, 7 — левое предсердие, 8 — легочные вены, 9 — легочная артерия;
г — внутреннее строение сердца (правая сторона): 1 — аорта, 2 — легочная артерия с полулунным клапаном, 3 — правый желудочек, 4 — створчатые клапаны с сухожильными нитями и сосочковыми мышцами, 5 — нижняя полая вена, 6 — правое предсердие, 7 — верхняя полая вена; *д* — общая схема строения сердца

Сердце человека *четырёхкамерное*. Оно разделено сплошной продольной перегородкой на *левую (артериальную)* и *правую (венозную)* половины. Каждая половина в свою очередь подразделяется на две камеры — **предсердие** и **желудочек**. Каждое предсердие делит перегородка, находящаяся внутри предсердия. Перегородки состоят из соеди-

нительной ткани, правое предсердие от правого желудочка отделяет *трехстворчатый клапан*, левое предсердие от левого желудочка — *митральный* (двухстворчатый). Клапаны открываются только в сторону желудочков и поэтому пропускают кровь только в одном направлении: из предсердий в желудочки.

Стенка сердца состоит из трех слоев:

- 1) *эпикарда* — наружного соединительнотканного, покрытого однослойным эпителием;
- 2) *миокарда* — среднего, состоящего из поперечнополосатой сердечной мышечной ткани, в которой различают две разновидности: рабочую и проводящую;
- 3) *эндокарда* — внутреннего, который по строению соответствует стенке кровеносных сосудов.

Мышечные стенки сердца наиболее тонкие в предсердиях (2—3 мм). Клапанный аппарат сердца образован за счет выростов внутреннего слоя сердца.

Предсердия — верхняя часть сердца, которая принимает кровь из вен организма и доставляет ее в желудочки.

Правое предсердие представляет собой полость неправильной кубовидной формы. В правое предсердие впадают три крупные вены: *верхняя полая* и *нижняя полая* вены, а также *вечная пазуха* и ряд мелких вен, отводящих кровь от самого сердца

Левое предсердие, так же как и правое, имеет неправильно кубовидную форму, но с более тонкими стенками, чем правое. В заднем отделе верхней стенки предсердия открываются *четыре отверстия легочных вен*, приносящие артериальную кровь из легких в полость левого предсердия.

Желудочек — (лат. *ventriculus*) — отдел сердца, получающий кровь из предсердий и перекачивающий ее в артерии.

Стенки желудочков имеют сложное строение. От дна и боковых стенок отходят сосочковые мышцы, к которым прикрепляются прочные соединительнотканнные нити (сухожильные струны), которые удерживают створки клапана, когда они закрываются. Благодаря этому створчатые клапаны не могут вывернуться в сторону предсердий и пропустить туда кровь.

Мышечные стенки правого и левого желудочков по толщине отличаются друг от друга: стенки левого желудочка в 2,5 раза толще стенок правого. Дело в том, что левому желудочку приходится перегонять кровь через все тело, а это длинный и тяжелый путь, требующий больших усилий. Правый желудочек, перегоняющий кровь только через легкие, выполняет сравнительно небольшую работу.

Это один из примеров приспособления органа к условиям его деятельности.

От **правого желудочка** отходит **легочный ствол (артерия)**, от **левого — дуга аорты**. В месте отхождения из желудочков легочного ствола и аорты расположены **полулунные клапаны**, открывающиеся в сторону тока крови, что препятствует обратному току крови в желудочки. Таким образом, благодаря работе створчатых и полулунных клапанов в сердце ток крови осуществляется только в одном направлении: из предсердий в желудочки, а затем из них — в легочный ствол и аорту.

Створчатые клапаны сердца. Створчатый клапан состоит из трех элементов: *створки*, имеющей форму купола и образованной плотной соединительной тканью; *сосочковой мышцы*; *сухожильных струн* — нитей, натянутых между створкой и сосочковой мышцей.

Между левым предсердием и левым желудочком клапан имеет две створки и называется *двухстворчатым*, или *митральным*, между правым предсердием и правым желудочком находится *трехстворчатый* клапан.

При сокращении желудочков створчатые клапаны закрывают просвет между предсердием и желудочком. Механизм работы этих клапанов следующий: при повышении давления в желудочках кровь устремляется в предсердия, поднимая створки клапанов, и они смыкаются, перекрывая просвет между предсердием и желудочком. Открываться в сторону предсердий створкам клапанов мешают сухожильные струны, отходящие от поверхности и краев клапанов и прикрепляющиеся к мышечным выступам (сосочковым мышцам) желудочков. Мышечные выступы, сокращаясь вместе с желудочками, натягивают сухожильные нити, чем препятствуют выворачиванию створок клапанов в сторону предсердий и обратному оттоку крови в предсердия.

Между левым желудочком и отходящей от него аортой, а также между правым желудочком и отходящей от него легочной артерией имеются клапаны, каждый из которых состоит из трех кармашков в виде полумесяцев, окружающих устье сосуда, поэтому их называют **полулунными клапанами**. Свободным краем кармашки направлены в просвет сосудов. Когда эти клапаны замкнуты, их створки образуют фигуру в виде трехконечной звезды. Полулунные клапаны обеспечивают ток крови только в одном направлении — из желудочков в аорту и легочную артерию.

Аортальный клапан — клапан сердца, расположенный между левым желудочком и аортой. Состоит из *трех полулунных створок*, каждая из которых похожа на карман, просвет которого открывается в левый желудочек. При сокращении левого желудочка аортальный клапан открывается, его створки прижимаются к стенке аорты, образуя между

собой равносторонний треугольник, позволяя крови спокойно следовать в аорту. При расслаблении левого желудочка клапан закрывается.

Непосредственно в начале легочного ствола располагается **клапан легочного ствола**, состоящий из трех расположенных по кругу полулунных складок. Их выпуклая (нижняя) поверхность обращена в полость правого желудочка, а вогнутая (верхняя) и свободный край — в просвет легочного ствола. Середина свободного края каждой из этих заслонок утолщена за счет так называемого узелка полулунной заслонки, который способствует более плотному смыканию полулунных заслонок при их закрытии. Между стенкой легочного ствола и каждой из полулунных заслонок имеется небольшой карман — *синус легочного ствола*. При сокращении мускулатуры желудочка полулунные заслонки прижимаются током крови к стенке легочного ствола и не препятствуют прохождению крови из желудочка; при расслаблении, когда давление в полости желудочка падает, возвратный ток крови заполняет синусы и раскрывает заслонки. Их края смыкаются и не пропускают кровь обратно в полость правого желудочка.

Сердечный цикл

Фаза	Время	Предсердия	Желудочки
1	0,1 с	Сокращаются	Расслабляются
2	0,3 с	Расслабляются	Сокращаются
3	0,4 с	Расслабляются	Расслабляются

Движение крови по сосудам обеспечивается:

- работой самого сердца (за одно сокращение желудочки выбрасывают до 140 мл крови);
- разностью кровяного давления (в аорте 150 мм рт. ст., в крупных артериях — 30 мм рт. ст., в венах — около 10 мм рт. ст.);
- сокращением скелетной мускулатуры нижних конечностей;
- присасывающей силой грудной клетки, возникающей при ее расширении во время вдоха;
- наличием клапанов в крупных венах.

Все ткани, за исключением поверхностных слоев кожи, ЦНС и костной ткани, пронизаны множеством **лимфатических капилляров**, являющихся начальным звеном лимфатической системы.

Лимфатические капилляры представляют собой тонкие эндотелиальные трубки, образованные одним слоем клеток и не имеющие базальной мембраны. В отличие от кровеносных капилляров, лимфатические начинаются слепо. Их диаметр варьируется от 10 до 200 мкм.

Лимфатические капилляры образуют обширную сеть во всех органах и тканях, кроме головного и спинного мозга, мозговых оболочек, хрящей, плаценты, эпителиального слоя слизистых оболочек и кожи, глазного яблока, внутреннего уха, костного мозга и паренхимы селезенки.

В результате всасывания лимфатические капилляры тканевой жидкости, а также при фильтрации плазмы крови через стенки кровеносных капилляров образуется лимфа.

Лимфа — прозрачная (или слегка опалесцирующая) жидкость желтоватого цвета, перемещающаяся в сосудах лимфатической системы.

Лимфатические сосуды образуются при слиянии нескольких лимфатических капилляров. Начальные лимфатические сосуды у которых появились клапаны, но стенки по строению еще не отличаются от капиллярных, называются лимфатическими посткапиллярами.

Стенки лимфатических сосудов утолщаются постепенно: у внутриорганных сосудов мышечная и соединительнотканная оболочки тонкие, у внеорганных сосудов эти оболочки утолщаются по мере их укрупнения. Лимфатические сосуды имеют клапаны, пропускающие лимфу от места ее образования в сторону лимфатических узлов, протоков, стволов. Клапаны лимфатических сосудов образованы выступающими в просвет складками внутренней оболочки — эндотелия вместе с тонкими пучками соединительной ткани. Обычно у каждого клапана две створки, располагающиеся на противоположных стенках сосуда. В местах расположения клапанов лимфатические сосуды несколько тоньше, чем в межклапанных промежутках, в результате чего они имеют четкообразный вид.

На пути следования к лимфатическим узлам лимфатические сосуды чаще располагаются рядом с венами. Сосуды, несущие лимфу от кожи, подкожной клетчатки называются поверхностными. Глубокие лимфатические сосуды собирают лимфу от мышц, составов и других органов, сопровождают глубоко лежащие кровеносные сосуды и входят в состав сосудисто-нервных пучков. Лимфатические сосуды, отходящие от лимфатических узлов, направляются либо к следующим лимфатическим узлам этой или другой группы, либо к протоку, собирающему лимфу из данной части тела. На пути тока лимфы от органов лежит от 1 до 10 лимфатических узлов. Наибольшее их количество располагается по ходу лимфатических сосудов, несущих лимфу от тонкой и толстой кишок, почек, желудка, легких.

Из лимфатических сосудов образуются шесть лимфатических протоков, сливающихся в два главных ствола — грудной проток и правый лимфатический проток.

Лимфа выполняет следующие функции:

- возврат тканевой жидкости в кровяное русло;

- перенос питательных веществ, кислорода, продуктов обмена веществ;
- участвует в обмене жиров и белков, перераспределении воды в организме;
- в лимфатических узлах аккумулируются лейкоциты, осуществляющие фагоцитоз и образование антител.

Гигиена сердечно-сосудистой системы — это комплекс условий, при которых сердце и сосуды обеспечивают нормальную циркуляцию крови и выполнение кровью своих функций.

Факторы, негативно влияющие на сердечно-сосудистую систему:

- гиподинамия (недостаток двигательной активности) ведет к атрофии сердечной мышцы;
- алкоголь отравляет сердечную мышцу, развивается сердечная недостаточность;
- никотин вызывает устойчивый спазм сосудов, инфаркт миокарда;
- недостаточность кислорода в атмосфере вызывает гипоксию, меняется ритм сердечных сокращений;
- патогенные микроорганизмы вызывают инфекционные заболевания сердца;
- стрессовые ситуации истощают сердечную мышцу.

12.4.3. Иммуитет и иммунная система

Иммуитет (лат. *immunitas* — освобождение, избавление), или невосприимчивость, — способность организма защищать свою целесообразность и биологическую индивидуальность. Частным случаем иммуитета является невосприимчивость к инфекционным заболеваниям.

В организме существуют механизмы, обеспечивающие врожденный, видовой иммуитет и естественную невосприимчивость (барьерная функция эпителиев, антимикробное действие секторов, потовых и сальных желез, желудочного и кишечного содержимого, слезы, слюны и т.п.), и механизмы, формирующие приобретенный иммуитет (иммунная система).

В защите организма от патогенных микробов важная роль принадлежит сыворотке крови. Помимо существующих в ней антимикробных веществ природного происхождения, в плазме крови в ответ на внедрение в организм болезнетворных микробов появляются особые специфические вещества микробной природы, способные инактивировать микробы и их токсины. Эти защитные вещества получили название **антител**. Вырабатываются антитела в различных тканях и органах (селезенке, лимфатических железах, костном мозге). Образование антител вызывается действием не только патогенных микробов или

их токсинов. Они вырабатываются также при введении в организм, например, чужеродных белковых веществ, сыворотки крови других животных и т.д. Все вещества, способные вызывать образование антител, получили название **антигенов**.

Реакции взаимодействия антител с микробами и другими антигенами внешне проявляются очень разнообразно. Так, антитела **бактериолизины** вызывают лизис бактерий, **агглютинины** — склеивание микробных клеток, **антитоксины** — нейтрализуют токсины.

Приобретенный иммунитет может быть естественным, появляющимся в результате перенесенного инфекционного заболевания и искусственным, который приобретается вследствие введения в организм специфических биопрепаратов — вакцин и сывороток.

Вакцины представляют собой убитых или ослабленных возбудителей инфекционных заболеваний или их обезвреженные токсины. Приобретенный иммунитет является *активным*, т.е. возникшим в результате активной борьбы организма с возбудителем болезни.

Лечебные **сыворотки** представляют собой жидкую часть крови животных, перенесших инфекционное заболевание в результате искусственного заражения. Иммунитет, возникающий при их применении, наступает быстро — в течение нескольких часов. Называют его *пассивным*, так как он обуславливается содержащимися в сыворотках защитными веществами (антителами), вводимыми в организм в готовом виде.

Все виды приобретенного иммунитета отличаются строгой специфичностью, т.е. организм становится невосприимчивым только к определенному инфекционному заболеванию (рис. 12.13).

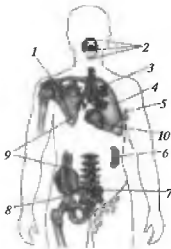


Рис. 12.13. Органы иммунной системы: 1 — костный мозг, 2 — миндалины глоточного лимфоидного кольца, 3 — тимус, 4 — легкое, 5 — подмышечные лимфатические узлы, 6 — селезенка; 7 — лимфоидные бляшки, 8 — аппендикс, 9 — лимфоидные узелки (в стенках бронхов и толстой кишки); 10 — сердце

Все клетки крови образуются в красном костном мозгу. Лимфоциты красного костного мозга мигрируют в лимфоидную ткань и лимфоузлы. Предшественники лимфоцитов из костного мозга направляются в тимус, где завершают развитие и специализируются.

Лимфоциты тимуса убивают раковые клетки и регулируют ход иммунной реакции, лейкоциты лимфоидной ткани участвуют в образовании антител, удаляющих антигены, обнаруженные лимфоцитами и лейкоцитами

Контрольные вопросы и задания

1. Какие типы кровеносных сосудов вы знаете? Дайте характеристику каждому из них.
2. Опишите сердечный цикл, его фазы и продолжительность.
3. Перечислите кровеносные сосуды малого круга кровообращения.
4. Назовите основные вены большого круга кровообращения и области, из которых они собирают кровь.
5. Что такое артериальное давление? Назовите его составляющие и величину каждой из них.
6. Назовите основные структуры лимфатической системы.
7. Какие функции выполняет иммунная система?
8. Перечислите закономерности строения органов иммунной системы.
9. В чем различие между активным и пассивным иммунитетом?
10. Что представляют собой вакцины и лечебные сыворотки?

12.5. Индивидуальное развитие организма

12.5.1. Жизненные циклы. Размножение

Клеточный цикл (жизненный цикл клетки) — существование клетки от момента ее возникновения в результате деления материнской клетки до ее собственного деления или смерти. Продолжительность клеточного цикла зависит от типа клетки, ее функционального состояния и условий среды. Клеточный цикл включает митотический цикл и период покоя.

В период покоя (G_0) клетка выполняет свойственные ей функции и избирает дальнейшую судьбу — погибает, либо возвращается в ми-

тотический цикл. В непрерывно размножающихся клетках клеточный цикл совпадает с митотическим циклом, а период покоя отсутствует.

Митотический цикл состоит из четырех периодов: пресинтетического (постмитотического) — G_1 , синтетического — S , постсинтетического (премитотического) — G_2 , митоза — M .

Интерфаза — подготовка клетки к делению — состоит из трех периодов. В первый период (G_1), увеличивается объем цитоплазмы и количество органоидов, происходит рост клетки после предыдущего деления. Во второй период (S) происходит удвоение генетического материала (репликация ДНК), синтез белковых молекул, с которыми связывается ДНК, и превращение каждой хромосомы в две хроматиды. В третий период (G_2) усиливаются процессы биосинтеза, происходит деление митохондрий и хлоропластов, удваиваются центриоли.

Продолжительность интерфазы в клетках растений и животных, способных к делению, составляет в среднем 10—20 ч, тогда как митоз занимает около 1—2 ч.

Жизненный цикл — последовательность стадий развития, через которые проходят представители вида от зиготы одного поколения до зиготы следующего.

Основой размножения и индивидуального развития организмов является деление клетки. Описано три способа деления эукариотических клеток:

1) **амитоз** (прямое деление) — редкий способ деления клетки, характерный для стареющих или опухолевых клеток. При амитозе ядро делится путем перетяжки и равномерное распределение наследственного материала не обеспечивается. После амитоза клетка не способна вступать в митотическое деление;

2) **митоз** (непрямое деление) — в результате которого дочерние клетки получают генетический материал, идентичный тому, который содержался в материнской клетке. Митоз состоит из четырех фаз (рис. 12.14);

3) **мейоз** (редукционное деление) — тип клеточного деления, сопровождающийся редукцией числа хромосом. В результате из первично диплоидных клеток образуются гаплоидные. В ходе мейоза происходит два клеточных деления, причем удвоение числа хромосом происходит только перед первым делением. Таким образом, из одной диплоидной клетки делящейся мейотически, образуется четыре гаплоидных. Как и митоз, каждая из мейотических делений состоит из четырех фаз.



Рис. 12.14. Митоз клетки животных

Понятия размножения и воспроизведения

Размножение — процесс воспроизведение себе подобных, обеспечивающий непрерывность и преемственность жизни.

Воспроизведение — способность живого образовывать себе подобные (одна из характеристик живого).

Уровни воспроизведения живого:

- *молекулярный* — матричные реакции репликации ДНК;
- *органOIDный* — деление клеточных органоидов и органелл (хлоропласты, митохондрии);
- *клеточный* — деление клеток (митоз, мейоз, амитоз);
- *организменный* — размножение многоклеточных организмов (бесполое и половое).

Бесполое размножение происходит без образования специализированных половых клеток (гамет), с участием одного организма. При бесполом размножении образуется идентичные потомки, составляющие клон. При бесполом размножении новая особь появляется из неспециализированных клеток тела — соматических, неполовых.

Формы бесполого размножения:

- *простое деление* — характерно для простейших организмов. Из одной клетки путем митоза образуются две дочерние, каждая из которых становится новым организмом;
- *почкование* — форма бесполого размножения, при которой от родительской особи отделяется дочерний организм;
- *спорообразование* — форма бесполого размножения, при которой размножение происходит с помощью спор, специальных клеток, образующихся в материнском организме. Каждая спора, прорастая, дает начало новому организму;
- *вегетативное размножение* — разновидность бесполого размножения отдельными органами, частями органов или тела. Оно основано на способности организмов восстанавливать недостающие части тела — *регенерации*.

Половое размножение происходит в результате образования и слияния специализированных половых клеток гамет (у бактерий и простейших при половом процессе количество особей не увеличивается, т.е. размножения не бывает, происходит конъюгация).

Новый организм несет наследственную информацию обоих родителей. Половое размножение свойственно как растительным, так и животным организмам. Половые клетки формируются в результате особого типа деления, при котором число хромосом во вновь образующихся клетках в два раза меньше, чем в исходной материнской. В результате слияния двух гамет число хромосом во вновь образовавшейся клетке — зиготе — увеличивается в два раза, т.е. восстанавливается, причем одна половина всех хромосом является отцовской, другая — материнской.

Половое размножение характерно для подавляющего большинства живых существ. Оно складывается из четырех основных процессов:

- 1) **гаметогенез** — образования половых клеток гамет;
- 2) **оплодотворение** — слияние гамет и образование зиготы;
- 3) **эмбриогенез** — дробление зиготы и формирование зародыша;
- 4) **постэмбриональный период** — рост и развитие организма в послезародышевый период.

12.5.2. Развитие зародыша и плода.**Беременность и роды**

Оплодотворение — процесс слияния мужских и женских половых клеток (гамет), в результате которого образуется зигота.

Оплодотворение у животных бывает:

- *наружное* (рыбы, земноводные и др.);
- *внутреннее* (пресмыкающиеся, птицы, млекопитающие и др.).

У млекопитающих и человека яйцеклетки приобретают способность к оплодотворению в результате овуляции.

Оплодотворение у млекопитающих происходит в три этапа (табл. 12.1).

Таблица 12.1

Этапы оплодотворения у млекопитающих

Этап	Процесс	Сущность процесса
I	Проникновение сперматозоида в яйцеклетку	Нахождение яйцеклетки сперматозоидом и их взаимодействие обеспечивают гамоны — вещества, выделяемые половыми клетками (яйцеклетка — гиногамоны, сперматозоид — андрогамоны). Оболочку яйцеклетки разрушают ферменты гиалуронидаза и протеаза, содержащиеся в акросоме сперматозоида
II	Слияние ядер половых клеток	Гаплоидные ядра сперматозоида и яйцеклетки сливаются вместе, образуя диплоидное ядро. Яйцеклетка с оплодотворенным ядром — зигота
III	Активация развития зиготы	Вокруг centrioli сперматозоида, проникшего в яйцеклетку, образуется лучистость из микротрубочек и формируется веретено деления, побуждающее зиготу к дроблению

Функции гамет в оплодотворении:

- сперматозоид — вносит генетическую информацию в яйцеклетку и активирует ее развитие;
- яйцеклетка — содержит запас питательных веществ, обеспечивающий развитие зиготы.

После оплодотворения начинается индивидуальное развитие животного или растения — *онтогенез*, который завершается формированием взрослого организма. Рассмотрим онтогенез организма животного.

Развитие зародыша. Оплодотворенная яйцеклетка — зигота — претерпевает ряд быстро следующих друг за другом митотических делений, которые называются дроблением. **Дробление** и другие ранние стадии развития многоклеточного зародыша, называемые периодом эмбрионального развития, рассмотрим на примере ланцетника (рис. 12.15).

Зигота вначале делится в продольном направлении на две одинаковые по величине клетки, называемые бластомерами. За тем каждый из *бластомеров* делится также в продольном направлении и образуются четыре клетки. Следующее, третье деление происходит в поперечном направлении, и в результате его формируются восемь одинаковых клеток. В дальнейшем чередуются быстро следующие друг за другом продольные и поперечные деления, которые приводят к образованию 16, 32, 64, 128 и больше клеток (**бластомеров**).



Рис. 12.15. Ранние стадии развития зародыша ланцетника

При дроблении следующие друг за другом деления происходят быстро, бластомеры не растут и их размеры по мере увеличения числа клеток уменьшаются. В результате дробления образуется шарообразный зародыш с полостью внутри — *бластула*. Бластула состоит уже из нескольких сотен мелких клеток, но по размеру не отличается от зиготы.

На бластуле появляется углубления, образуется двухслойный мешок с одним отверстием — *гастроула*. Наружный слой ее клеток составляет *эктодерма*, а внутренний — *энтодерма*. Эти слои (листы) — отдельные пласты клеток, занимающие определенное положение в зародыше и дающие начало соответствующим органам. Полость внутри гастроулы, называется гастрощелью. Между эктодермой и энтодермой формируется третий зародышевый листок — *мезодерма*. Таким образом, сущность процесса гастрюляции заключается в перемещении клеточных масс. После завершения гастрюляции образуется комплекс осевых органов. Образование органов начинается с развития из эктодермы зачатка нервной системы (нервная пластинка → нервный желобок → нервная трубка) — стадия *нейрулы*.

Из части энтодермы образуется зачаток хорды. Из оставшейся энтодермы развивается кишечная трубка. Справа и слева от хорды образуется туловищная мезодерма, в которой появляется полость тела — *целом*. Нервная трубка, хорда с туловищной мезодермой и кишечная трубка — *комплекс осевых органов*. Развитие органов происходит из **зародышевых листков**:

- *эктодермы* — эпидермис и его производные, челюсти и эмаль зубов, нервная система, органы чувств;
- *энтодермы* — пищеварительный тракт, печень, поджелудочная железа, эпителий кишечника, щитовидная железа, тимус, первичные половые клетки, легкие;
- *мезодермы* — мускулатура, дерма, сердце, сосуды, кровь, хрящи, кости, лимфатическая система. почти с мочеточниками. яичники, семенники.

Беременность — процесс внутриутробного вынашивания плода у живородящих животных и человека. Вынашивание детенышей заканчивается родами. Внутри материнского организма зародыш развивается и растет, получая все питательные вещества из крови матери через особый орган — *плаценту*. Весь организм будущей матери во время беременности значительно перестраивается, готовится к родам и последующему вскармливанию потомства.

Сроки вынашивания потомства у животных варьируют от нескольких дней до двух лет (у слонов).

У человека нормальный срок беременности — 40 недель (девять солнечных месяцев или десять лунных месяцев).

Первые 8 недель беременности называют эмбриональным периодом. В этот период закладываются все органы и ткани будущего организма. Развитие эмбриона сопровождается образованием нескольких оболочек, окружающих его и отторгаемых при рождении. Позднее эмбрион формируется в плод, который активно растет и развивается (рис. 12.16).

По истечении 9 недель, когда у зародыша уже сформированы все системы и органы, его начинают называть *плодом*. К моменту рождения (через 38—42 недель) длина плода достигает 50—52 см, масса тела — 3000—3800 г. Если роды происходят в период 22—37 недель беременности, они считаются *преждевременными*, тем не менее плод на этом сроке считается жизнеспособным.

Прерывание беременности до 22 недель называют *выкидышем*, при этом плод является нежизнеспособным.

С момента рождения начинается период *постнатального развития*.



Рис. 12.16. Размеры плода человека в период 8—16 недель в натуральную величину: *a* — 8 недель; *b* — 9 недель; *в* — 10 недель; *г* — 11 недель; *д* — 12 недель; *e* — 16 недель

Рождение — это процесс выхода плода из родовых путей матери. Рождение является следствием изгнания плода из полости матки в результате сильных сокращений ее стенки. В подготовки к родам и их осуществлении участвуют многие системы организма матери и плода: центральная и периферическая нервная система, гормоны и другие биологически активные вещества, образующиеся в системе плод — плацента, нервно-мышечный аппарат самой матки. У человека роды осложняются большими размерами головы плода и особенностями строения таза женщины, связанными с прямохождением. Поэтому в настоящее время врачи часто прибегают к различным родовспомогающим операциям.

После появления плода на свет пупочный канатик, соединявший организм плода со стенкой матки, перевязывают и перерезают. Это приводит к быстрому увеличению концентрации CO_2 в крови новорожденного, что возбуждает дыхательный центр. Возбуждение поступает к дыхательным мышцам, сокращение которых и обуславливает первый вдох.

12.5.3. Наследственные и врожденные заболевания, передаваемые половым путем

В настоящее время насчитывается более 20 заболеваний, передаваемых половым путем. К ним относятся и так называемые инфекции

нового поколения — трихомоноз, урогенитальный хламидоз и каидидоз, и многие другие.

Сифилис — венерическая болезнь, вызываемая бледной трепонемой. Заражение происходит в большинстве случаев половым путем. Бытовое заражение происходит значительно реже, а именно: при пользовании одной с больным одной зубной щеткой, ложкой, сигаретой.

Инкубационный период длится в среднем 3—4 недели, иногда он укорачивается до 8—15 дней. На месте проникновения инфекции проявляется эрозия или язвочка (первичная сифилома) — безболезненная, правильной округлой формы, слегка выступающая над кожей. Наиболее частая локализация первичной сифиломы — половые органы. Через 5—7 дней после ее появления увеличиваются ближайшие к ней лимфатические узлы (чаще паховые), они не связаны с кожей, безболезненны, кожа над ними не изменяется. Без лечения первичная сифилома может существовать несколько недель, а затем она подвергается эпителизации.

Иногда может остаться незамеченной, особенно у женщин, так как не причиняет беспокойства. На месте эпителизированной сифиломы образуется плотный инфильтрат.

Вторичный период сифилиса характеризуется сыпями, нарушением общего состояния — недомоганием, слабостью, температурой, головной болью. После исчезновения болезнь переходит в скрытый (латентный) период, который может продолжаться от нескольких месяцев до нескольких лет. В течение вторичного периода могут быть рецидивы. В рецидивном периоде может возникнуть в достаточно короткий срок характерное облысение.

Третичный период сифилиса начинается чаще всего на 3—4-м году болезни при отсутствии правильного лечения и длится до конца жизни больного. Его проявления отличаются особой тяжестью, приводят к обезображиванию, инвалидности и смерти в связи с поражением внутренних органов, нервной, костной и других систем.

Лечение сифилиса комплексное. Его назначает врач — дерматовенеролог. Начатое в ранние сроки полноценное лечение приводит к полному излечению. При поверхностном лечении внешние проявления болезни могут исчезнуть, что очень опасно, так как процесс продолжается и прогрессирует в скрытой форме.

К средствам профилактики относятся мероприятия личной гигиены. При случайной половой связи и подозрении на возможность заражения необходимо обратиться в пункт противовенерической помощи, где будут проведены необходимые профилактические мероприятия. При всех случаях подозрения на сифилис (эрозии, язвочки на половых

органах) необходимо обратиться к специалисту — венерологу. Использование мазей, антибиотиков до обследования недопустимо.

Гонорея — самая распространенное венерическое заболевание, при котором поражаются слизистые оболочки мочеполовых органов. Вызывается гонококком, передается, как правило, половым путем. Первые признаки заболевания проявляются через 3—5 дней. У мужчин в виде болей различной интенсивности в мочепускательном канале и слипаниях, особенно по утрам, его наружного отверстия. Выделения сначала скудные, серые, через день-два они усиливаются, затем превращаются в обильные, густые, гнойные, желтовато-зеленого цвета. У женщин заболевание протекает вяло, что представляет опасность: женщина считает себя здоровой, ведет привычный образ жизни, являясь источником заражения. В дальнейшем заболевание переходит на маточные трубы, которые делаются непроходимыми для сперматозоидов. Иногда гонореей болевают девочки в возрасте от 2 до 8 лет. Их заражение происходит, как правило, через предметы туалета и домашнего обихода, загрязненные выделениями больного.

При подозрении на гонорею больной должен немедленно обратиться к врачу венерологу. Во время лечения необходимо соблюдать предписания врача, выполнять все гигиенические правила, исключить половую жизнь, воздержаться от употребления острой и пряной пищи, алкоголя.

Необходимо учесть, что через один-два дня после начала лечения выделения и субъективные ощущения могут исчезнуть. Однако это не означает полного излечения, так как гонококки сохраняются длительно в очагах. Необходимо пройти полный курс лечения, чтобы избежать перехода заболевания в хроническую форму. Хроническая гонорея у мужчин может быть причиной хронического простатита, бесплодия, у женщин — воспаления придатков.

СПИД — синдром приобретенного иммунодефицита — вызывается вирусом иммунодефицита человека. Существует несколько вирусов иммунодефицита человека: ВИЧ-1, обнаруженный у людей в большинстве стран мира, и ВИЧ-2, обнаруженный в Западной Африке.

В нашей крови находятся белые (лейкоциты) и красные (эритроциты) кровяные тельца. При попадании в кровь вирусов или болезненных бактерий лейкоциты начинают вырабатывать антитела к ним. Таким образом, наш организм освобождается от вируса и заболевание не развивается. ВИЧ ослабляет иммунную систему человека, поражая лейкоциты и вызывая их гибель. Человек, заболевший СПИДом, как правило, умирает от одного или сразу нескольких серьезных заболеваний, о которых будет рассказано ниже.

Заражение здорового человека **ВИЧ** не всегда проявляется клиническими симптомами и, как правило, человек долго чувствует себя практически здоровым, оставаясь вирусоносителем.

Примерно через три месяца у людей, зараженных **ВИЧ**, уже можно лабораторно определить антитела к вирусу.

Клинические проявления СПИДа появляются после заражения через шесть месяцев или даже несколько лет. Однако эти симптомы характерны не только для СПИДа, они присущи многим заболеваниям: раку, пневмонии, диарее и т.д.

После исключения этих заболеваний врач может поставить диагноз СПИДа, если у пациента проявляется два или более основных симптома и как минимум один второстепенный.

Основные клинические симптомы СПИДа:

- потеря веса более чем на 10% от прежнего веса;
- лихорадка, длящаяся более месяца;
- понос, длящийся более месяца (с перерывами или постоянно);
- сильная утомляемость и слабость.

Второстепенные клинические симптомы СПИДа:

- кашель, продолжающийся более одного месяца;
- стоматит;
- язвенные поражения кожи;
- опоясывающий лишай;
- увеличение лимфоузлов одной или нескольких групп (исключая паховые) в течение трех месяцев.

В конечной стадии болезни иммунная система человека окончательно разрушается. Организм становится восприимчивым к различным заболеваниям, которые, как правило, имеют летальный исход. К ним относятся:

- легочные заболевания;
- инфекционные заболевания головного мозга, сопровождающиеся нарушениями интеллекта и сильными головными болями;
- кишечные инфекции;
- рак, особенно рак кожи, который называется саркомой Капоши.

Около половины людей, у которых диагностирован СПИД, умирает через два года после постановки клинического диагноза.

ВИЧ не разносится по воздуху и не может проникнуть в наш организм капельным путем, как корь. Существует четыре основных пути передачи **ВИЧ**:

- при половом акте с человеком, зараженным **ВИЧ**;
- при переливании крови, зараженной **ВИЧ**;
- внутриутробно от зараженной матери к ребенку;

- при наличии зараженной крови на медицинских инструментах, в шприцах и т.д.

Наибольшее количество ВИЧ находится в крови, сперме и влагалищном секрете. От зараженного человека ВИЧ проникает в лейкоциты пока еще здорового человека. Человек может заразиться ВИЧ только в том случае, если инфицированная кровь, сперма или влагалищный секрет попадает непосредственно в кровь или на слизистые оболочки здорового человека. Причем заражение вирусом, попавшим на кожу и слизистые, произойдет только в том случае, если на них есть повреждения (царапины, порезы, потертости).

Профилактика распространения венерических заболеваний (ВЗ):

- необходимо избегать половых контактов с партнером, у которого имеются сыпь, покраснения, язвочки или выделения из половых органов;
- рекомендуется посещать врача всем, кто не в состоянии заниматься безопасным сексом, а также при обнаружении у себя малейших признаков ВЗ женщинам рекомендуется посещать врача и во время запланированных семейных посещений медицинских заведений, так как у них симптомы ВЗ проявляются менее заметно;
- большинство ВЗ излечимы, если лечение проводится квалифицированным специалистом. Возбудители ВЗ трудно подвергаются уничтожению, поэтому чрезвычайно важно во время лечения соблюдать все медицинские предписания.

Профилактика ВЗ является также профилактикой бесплодия.

12.5.4. Влияние наркотических веществ (табака, алкоголя, наркотиков) на развитие и здоровье человека

Здоровье человека — состояние человеческого организма как живой системы, характеризующееся полной ее уравновешенностью с внешней средой и отсутствием каких-либо выраженных изменений, связанных с болезнью.

Здоровье человека, по определению Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), — объективное состояние и субъективное чувство полного физического, психического и социального комфорта.

Сначала под здоровьем подразумевали отсутствие заболевания. Здоровым считали человека, который не болеет в настоящее время. Для такого понимания характерно противопоставление понятий «здоровье» — «болезнь».

Позднее понятие «здоровье» связали с понятием «внешняя среда»: здоровье — такое естественное состояние организма, при котором функции его органов и систем уравновешены с внешней средой и отсутствуют какие-либо болезненные изменения.

Нормальные показатели состояния здоровья для среднего взрослого человека:

- частота сердечных сокращений — 60—80 в минуту;
- артериальное давление — 120/80 мм рт. ст. — идеальное артериальное давление. Пределом нормальных значений артериального давления является показатель до 129/84 мм рт. ст. Значения 130—139/85—89 мм рт. ст. принято считать за пограничное давление. 140/90 мм рт. ст. — признак повышенного давления;
- частота дыхательных движений — 16—18 в минуту;
- температура тела — 36,6 °С.

На состояние здоровья влияют:

- условия и образ жизни, питание;
- генетика и наследственность;
- внешняя среда;
- здравоохранение (качество медицинского обслуживания).

Регулярные физические тренировки (спорт, занятия физкультурой, зарядка) положительно влияют на здоровье.

Отрицательное влияние оказывают стресс, болезни, загрязнение окружающей среды, курение, алкоголь, наркотики.

Вред курения

Многие курильщики спокойно относятся к имеющейся у них вредной привычке. Они убеждены, что курение не наносит большого вреда организму, им неизвестно о пагубных последствиях курения или же они стараются не обращать на это внимания. Как правило, они не знают ничего, или имеют весьма туманное представление о реальных последствиях курения.

Серьезный вред, который наносит курение организму человека, не подлежит сомнению. Табачный дым содержит более трех тысяч вредных веществ. Все их запомнить невозможно. Но три основные группы токсинов знать надо.

Смоли. Содержат сильные канцерогены и вещества, раздражающие ткани бронхов и легких. Рак легких в 85% всех случаев вызывается курением. Рак полости рта и гортани также в основном бывает у курильщиков. Смоли являются причиной кашля курильщиков и хронического бронхита.

Никотин. Никотин является наркотическим веществом стимулирующего действия. Как любой наркотик вызывает привыкание, страсти и зависимость. Повышает частоту сердечных сокращений и артериальное давление. Вслед за стимуляцией мозга наступает значительный спад вплоть до депрессии, что вызывает желание увеличить дозу никотина. Подобный двухфазный механизм присущ всем наркотическим стимуляторам: сначала возбуждают, затем истощают. Полный отказ от курения сопровождается синдромом отмены продолжительностью чаще до 2—3 недель. Наиболее частые симптомы отмены никотина — раздражительность, нарушение сна, беспокойство, пониженный тонус. Все эти симптомы угрозы здоровью не представляют, они угасают и исчезают полностью сами собой. Повторное поступление никотина в организм после длительного перерыва быстро восстанавливает зависимость (точно так же, как новая порция алкоголя вызывает рецидив болезни у бывших алкоголиков).

Токсичные газы (окись углерода, цианистый водород, окись азота и др.). Окись углерода или угарный газ — основной ядовитый компонент газов табачного дыма. Он повреждает гемоглобин, после чего гемоглобин теряет способность переносить кислород, поэтому курильщики страдают хроническим кислородным голоданием, что отчетливо проявляется при физических нагрузках. Например, при подъеме по лестнице или во время пробежки у курильщиков быстро появляется одышка. Угарный газ не имеет цвета и запаха, поэтому является особо опасным и нередко ведет к смертельным отравлениям. Табачный дым содержит 384 000 ПДК токсичных веществ, что в четыре раза больше, чем в выхлопе автомашины. Иными словами, курить сигарету в течение одной минуты — примерно то же самое, что дышать непосредственно выхлопными газами в течение четырех минут. Цианистый водород и окись азота также поражают легкие, усугубляя гипоксию (кислородное голодание организма).

Употребление алкоголя. Алкоголизм

Употребление алкогольных напитков — вредная привычка, которая может со временем перерасти в хроническое заболевание — алкоголизм.

Алкоголь (этиловый спирт) — бесцветная, жгучего вкуса и характерного запаха горючая жидкость. Содержится во всех спиртных напитках и обуславливает их опьяняющее действие. Алкоголь получают из крахмалистых и сахаристых веществ от действия дрожжей на сахар при спиртовом брожении.

Алкоголь действует на организм возбуждающим образом, замедляя обмен веществ. Он способен вызывать у человека состояние эйфории, вуалировать заботы и формировать иллюзорные представления покоя, юта, веселья и т.д.

Алкоголь разносится по крови ко всем органам и неблагоприятно на них действует, вплоть до разрушения. При систематическом употреблении алкоголя развивается **алкоголизм**.

Алкоголизм — заболевание, частный случай проявления *токсикомании*, характеризующееся болезненным пристрастием к употреблению алкогольных напитков (психическая и физическая зависимость) и алкогольным поражением внутренних органов. При алкоголизме происходит деградация личности человека.

В повседневной жизни и исторически алкоголизмом называют состояние, которое приводит к постоянному употреблению алкогольных напитков, несмотря на проблемы со здоровьем и негативные социальные последствия.

В организме алкоголь оказывает воздействие на органы и ткани:

- токсически действует на клетки головного мозга;
- изменяет биологические процессы головного мозга;
- обеспечивает организм энергией;
- замедляет работу центральной нервной системы, снижает ее эффективность, действует как анестезирующее средство;
- усиливает работу почек (при большом приеме алкоголя тело теряет больше воды, чем получает, вследствие этого клетки обезвоживаются);
- выводит из строя печень (после приема большой дозы спиртного примерно $\frac{2}{3}$ печени могут выйти из строя, работа печени обычно полностью восстанавливается только через несколько дней).

Наркомания

Наркомания — это пристрастие к употреблению наркотиков, болезненное влечение, которое приводит к тяжелым нарушениям, в первую очередь, психических и физических организма. В современном обществе мало кто не знает о вреде наркотиков, но все же эти вещества по-прежнему привлекают людей, становясь губительными для многих.

Наркомана характеризуют:

- бессонница и бледность;
- застывшее, лишенное мимики лицо;
- сухость слизистых оболочек;
- постоянно заложенный нос;

- дрожащие руки с исколотыми и воспаленными венами;
- частая зевота и чихание;
- необычайно широкие или узкие зрачки, не реагирующие на изменение освещенности глаза.

Состояние наркомании характеризуется тремя свойствами:

- 1) непреодолимое желание или потребность продолжать принимать наркотики и доставать их любыми способами;
- 2) стремление увеличивать дозы;
- 3) зависимость психического, а иногда и физического характера от воздействий наркотика.

Так называемый синдром наркомании возникает лишь в результате принятия наркотического средства, независимо от того, происходит ли это случайно или после систематического употребления.

Этапы этого процесса, протекающего более медленно или более быстро, в основном следующие:

- начальная эйфория, часто весьма кратковременная. Она характерна для определенных наркотических веществ (особенно морфия и опиума), а не для всех средств. В таком состоянии повышенной раздражительности, причудливых и часто эротических видений человек теряет контроль над собой;
- толерантность носит временный характер. Это явление объясняется реакцией организма на действие одной и той же дозы вещества, принимаемой неоднократно. Постепенно организм реагирует слабее;
- зависимость. Большинство исследователей пришли к выводу, что зависимость — явление как физическое, так и психическое. Выражается оно классическими симптомами абстиненции, или «отнятия», которые наркоман переносит очень тяжело и с риском тяжелых органических или функциональных приступов;
- абстиненция (синдром отнятия) происходит обычно через 12—48 ч после прекращения принятия наркотика. Наркоман не может переносить это состояние, вызывающее у него нервные расстройства, тахикардию, спазмы, рвоту, диарею, слюнотечение, повышенную секрецию желез. При этом появляется навязчивое желание найти токсическое вещество — наркотик — любой ценой! Резкое «отняние» наркомана приводит к неистовым и крайне опасным проявлениям, которые могут в некоторых случаях вызвать настоящие коллапсы, как это бывает с морфинистами. Это разновидность белой горячки, в которую погружается неизлечимый алкоголик. Приступ сам по себе выражает состояние острой потребности в отраве, ставшей необходимым фактором внутренних процессов.

12.5.5. Становление личности: темперамент, характер, индивид и личность. Интересы, склонности, способности

Личность — это человек, взятый в системе таких его психологических характеристик, которые социально обусловлены, проявляются в общественных по природе связях и отношениях, являются устойчивыми, определяют нравственные поступки человека, имеющие существенное значение для него самого и окружающих.

Человек есть живая система, представляющая собой единство физического и духовного, природного и социального, наследственного и приобретенного. Как живой организм человек включен в природную связь явлений и подчиняется биологическим закономерностям на уровне сознательной психики и личности человек обращен к социальному бытию с его специфическими закономерностями. Человек кристаллизует в себе все, что накоплено человечеством в течение веков. Эта кристаллизация осуществляется и посредством приобщения к культурной традиции, и через механизм биологической наследственности. Действия человека, образ его мыслей и чувств зависят от объективных исторических условий, в которых он живет. Содержание духовной жизни человека и ее законы наследственно не обусловлены.

Если понятие «человек» включает в себя совокупность всех человеческих качеств, свойственных людям независимо от того, присутствуют или отсутствуют они у данного конкретного человека, то понятие «индивид» характеризует именно его и дополнительно включает такие психологические и биологические свойства, которые наряду с личностными также ему присущи. Кроме того, в понятие «индивид» входят как качества, отличающие данного человека от других людей, так и общие для него и многих других людей свойства, т.е. индивид рассматривается в его специфических особенностях, не сводимых к какому-либо родовым и всеобщим характеристикам.

Отношение личности — это активная, сознательная, интегральная, избирательная, основанная на опыте связь личности с различными сторонами действительности. Личность есть система отношений, каждая часть которой отражает характер взаимодействия личности с другими людьми и окружающей средой.

Можно выделить несколько компонентов отношения личности. *Первый компонент* — эмоциональный, который формирует отношение личности к объектам среды, людям и самому себе. Достигается посредством привязанности, любви, симпатии и противоположных чувств — неприязни, вражды, антипатии. *Второй компонент* — позна-

вательный (оценочный), который способствует восприятию и оценке (осознание, понимание, объяснение) объектов среды, людей и самого себя. Проявляется в принятых личностью моральных ценностях, выработанных убеждениях, вкусах, склонностях, идеалах. *Третий компонент* — поведенческий (конативный), способствующий осуществлению выбора стратегий и тактик поведения личности по отношению к значимым (ценным) для нее объектам среды, людям и самому себе. Выражается посредством потребностей, так как потребность указывает на свой предмет, дает косвенное указание на способ достижения этого предмета.

Темперамент — это те врожденные особенности человека, которые обуславливают динамические характеристики интенсивности и скорости реагирования, степени эмоциональной возбудимости и уравновешенности, особенности приспособления к окружающей среде.

Рассмотрим характеристики четырех типов темперамента.

Холерик — это человек, нервная система которого определяется преобладанием возбуждения над торможением, вследствие чего он реагирует очень быстро, часто необдуманно, не успевает затормозить, сдержаться, проявляет нетерпение, порывистость, резкость движений, вспыльчивость, необузданность, несдержанность. Неуравновешенность его нервной системы предопределяет цикличность в смене его активности и бодрости: увлекшись каким-нибудь делом, он страстно, с полной отдачей работает, но сил ему хватает ненадолго. Как только они истощаются, появляется раздраженное состояние, плохое настроение, упадок сил и вялость (все падает из рук). Чередование положительных циклов подъема настроения и энергичности с отрицательными циклами спада, депрессии обуславливает неровность поведения и самочувствия, повышенную подверженность холерика к появлению невротических срывов и конфликтов с людьми.

Сангвиник — человек с сильной, уравновешенной, подвижной нервной системой, обладает быстрой скоростью реакции, его поступки обдуманны, жизнерадостен, благодаря чему его характеризует высокая сопротивляемость трудностям жизни. Подвижность его нервной системы обуславливает изменчивость чувств, привязанностей, интересов, взглядов, высокую приспособляемость к новым условиям. Это общительный человек. Легко сходится с новыми людьми, и поэтому у него широкий круг знакомств.

Флегматик — человек с сильной, уравновешенной, но инертной нервной системой, вследствие чего реагирует медленно, неразговорчив, эмоции проявляются замедленно (трудно рассердить, развеселить); обладает высокой работоспособностью, хорошо сопротивляется

сильным и продолжительным раздражителем, трудностям, но не способен быстро реагировать в неожиданных новых ситуациях. Прочно запоминает все усвоенное, не способен отказаться от выработанных навыков и стереотипов, не любит менять привычки, распорядок жизни, работу, приобретать новых друзей, трудно и замедленно приспосабливается к новым условиям. Настроение стабильное, ровное. И при серьезных неприятностях флегматик остается внешне спокойным.

Меланхолик — человек со слабой нервной системой, обладающий повышенной чувствительностью даже к слабым раздражителям, а сильный раздражитель уже может вызвать срыв, стопор, растерянность, «стресс кролика», поэтому в стрессовых ситуациях (экзамен, соревнования, опасность и т.п.) результаты деятельности меланхолика могут ухудшиться по сравнению со спокойной привычной ситуацией. Повышенная чувствительность приводит к быстрому утомлению и падению работоспособности (требуется более длительный отдых). Незначительный повод может вызвать обиду, слезы. Настроение очень изменчиво, но обычно меланхолик старается скрыть, не проявлять внешне своих чувств, не рассказывает о своих переживаниях, хотя очень склонен отдаваться переживаниям, часто грустен, подавлен, неуверен в себе, тревожен, у него могут возникнуть невротические расстройства. Однако, обладая высокой чувствительностью нервной системы, меланхолики часто имеют выраженные художественные и интеллектуальные способности.

Контрольные вопросы и задания

1. Из каких периодов состоит митотический цикл? Дать характеристику этим периодам.
2. Опишите три способа деления эукариотических клеток.
3. Из каких процессов складывается половое размножение?
4. В чем сущность процесса оплодотворения?
5. Развитию каких органов предшествует зародышевый листок мезодерма?
6. Каково клиническое проявление СПИДа? Какие существуют четыре основных пути передачи ВИЧ?
7. Охарактеризуйте последствия курения и алкоголя на организм человека.
8. На какие группы классифицируются наркотики?
9. Дайте характеристику четырем типам темперамента человека.

ГЛАВА 13. ЭКОЛОГИЯ СООБЩЕСТВ И ЭКОСИСТЕМ

13.1. Экология сообществ и экосистем

13.1.1. Понятие о биоценозе, биогеоценозе, экосистеме

Любой организм проводит всю жизнь среди множества других живых существ. Вступая с ними в самые разнообразные отношения, он в конечном итоге не способен существовать без этого живого окружения, где связи с другими организмами обеспечивают ему нормальные условия жизнедеятельности.

Организованная группа взаимосвязанных популяций растений, грибов и микроорганизмов, живущих совместно в практически одних и тех же условиях среды, называется **биоценозом** (от греч. *bios* — жизнь, *koinos* — общий).

Растительный компонент биоценоза называется *фитоценозом*, животный — *зооценозом*, микробный — *микробоценозом*.

Ведущим компонентом в биоценозе является фитоценоз. Он определяет каким будет зооценоз и микробоценоз.

Пространство с более или менее однородными условиями, которое занимает биоценоз, носит название **биотопа** (*topos* — место).

Так как биотоп есть место обитания или место существования биоценоза, последний является исторически сложившимся комплексом организмов, характерным для какого-то конкретного биотопа. Потому, что биоценоз невозможно оторвать от биотопа, они вместе образуют биологическую макросистему еще более высокого ранга — **биогеоценоз**. Его структура приведена на рис. 13.1.

Биогеоценозу присущи специфика взаимодействий слагающих его компонентов, их особая структура и определенный тип обмена веществ и энергии между собой и с другими субъектами природной среды. Отличаясь размерами, биогеоценозы характеризуются и большой сложностью. Это и небольшой водоем, и пруд, но это и лес, озеро, луг и т.д.

Живые компоненты любого биогеоценоза можно разделить на три части:

- 1) **продуценты** — производители первичной продукции (зеленые растения);

- 2) **консументы** — первичные (растительоядные) животные, вторичные (плотоядные) животные и т.д.;
- 3) **редуценты** (иначе, разрушители, деструкторы) — обычно грибы и микроорганизмы, разлагающие органические соединения отмерших организмов до неорганических, которые вновь используются продуцентами для построения своего тела.

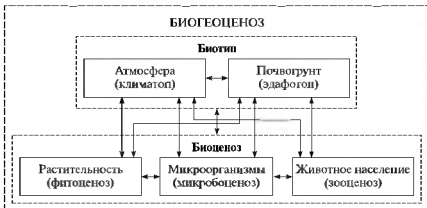


Рис. 13.1. Структура биогеоценоза (по В. Н. Сукачеву)

Между этими основными звеньями биогеоценоза возникают связи самых различных порядков — параллельные и перекрещивающиеся, запутанные и переплетенные и т.д.

Экосистема — система живых организмов и окружающих их неорганических тел, связанных между собой потоком энергии и круговоротом веществ. Термин «экосистема» был предложен английским ученым А. Тенли (1935), а термин «биогеоценоз» — российским ученым В. Н. Сукачевым (1942). «Экосистема» и «биогеоценоз» — понятия близкие, но не синонимы. Биогеоценоз — это экосистема в границах фитоценоза, экосистема — понятие более общее. Каждый биогеоценоз — это экосистема, но не каждая экосистема — биогеоценоз. Единая экосистема нашей планеты называется биосферой. Биосфера — экосистема высшего порядка.

В зависимости от природных и климатических условий можно выделить три группы и ряд типов природных экосистем (*биомов*). В основе классификации для наземных экосистем лежит тип естественной (исходной) растительности, для водных экосистем — гидрологические и физические особенности.

Наземные экосистемы:

- 1) тундра: арктическая и альпийская;
- 2) борсальные хвойные леса;
- 3) листопадный лес умеренной зоны;
- 4) степень умеренной зоны;
- 5) тропические злаковники и саванна;
- 6) чапарраль (районы с дождливой зимой и засушливым летом);
- 7) пустыня: травянистая и кустарниковая;
- 8) полувечнозеленый тропический лес (районы с выраженными влажным и сухим сезонами);
- 9) вечнозеленый тропический дождевой лес.

Пресноводные экосистемы:

- 1) лентические (стоячие воды): озера, пруды, водохранилища и др.;
- 2) лотические (текучие воды): реки, ручьи, родники и др.;
- 3) заболоченные угодья: болота, болотистые леса, марши (приморские луга).

Морские экосистемы:

- 1) открытый океан (пелагическая экосистема);
- 2) воды континентального шельфа (прибрежные воды);
- 3) районы апвеллинга (плодородные районы с продуктивным рыболовством);
- 4) эстуарии (прибрежные бухты, проливы, устья рек, лиманы, соленые марши и др.);
- 5) глубоководные рифтовые зоны.

Помимо основных типов природных экосистем (биомов) различают переходные типы — **экотоны**. Например, лесотундра, смешанные леса умеренной зоны, лесостепь, полупустыни и др.

13.1.2. Воздействие экологических факторов на организм человека и влияние деятельности человека на окружающую среду

Экологический фактор — это любое условие среды, способное оказывать прямое или косвенное влияние на живой организм хотя бы на протяжении одной из фаз его индивидуального развития. В свою очередь, организм реагирует на экологический фактор специфическими приспособительными реакциями, т.е. адаптируясь к ним.

Экологические факторы весьма разнообразны, имеют разную природу и специфику действия, они могут быть необходимы для организмов или, наоборот, вредны для них, способствовать или препятствовать

вать выживанию и размножению. Их подразделяют на абиотические, биотические и антропоические.

Абиотические факторы — это все свойства неживой природы, прямо или косвенно влияющие на живые организмы (свет, температура, радиация, давление, влажность воздуха, солевой состав воды, рельеф местности и т.д.).

Биотические факторы — это прямые и опосредованные формы воздействия живых существ друг на друга. Любой организм в реальных условиях постоянно испытывает на себе различное влияние других существ.

Антропоические факторы — факторы, которые возникают в ходе непосредственного (прямого) воздействия человека на что-то.

Весьма часто употребляют термин «**антропогенный фактор**». Под ним понимают фактор, косвенно обязанный своим происхождением деятельности (настоящей и прошлой) человека. В последние годы антропогенные факторы, учитывая силу их воздействия, выделяют как отдельную категорию экологических факторов.

Существует следующая **классификация экологических факторов**:

по очередности (первичный и вторичный); **по времени** (эволюционный и исторический); **по происхождению** (космический, абиотический, биогенный, биотический, биологический, природно-антропогенный, антропоический); **по среде возникновения** (атмосферный, водный, геоморфологический, эдафогенный, физиологический, генетический, популяционный, биоценотический, экосистемный, биосферный); **по степени воздействия** (летальный, приводящий живой организм к гибели; экстремальный; лимитирующий; беспокоящий; мутагенный; тератогенный, приводящий к уродствам в ходе индивидуального развития).

Факторы среды имеют количественное выражение. По отношению к каждому фактору можно выделить **зону оптимума** (зону нормальной жизнедеятельности), **зону пессимума** (зону угнетения) и **пределы выносливости** организма. Оптимум — это то количество экологического фактора, при котором интенсивность жизнедеятельности организмов максимальна. В зоне пессимума жизнедеятельность организмов угнетена. За пределами выносливости существование организма невозможно. Различают нижний и верхний предел выносливости.

Способность живых организмов переносить количественные колебания действия экологического фактора в той или иной степени называется **экологической валентностью** (**толерантностью, устойчивостью, пластичностью**). Значения экологического фактора между верхним и нижним пределами выносливости называется **зоной толерантности**.

Виды с широкой зоной толерантности называются **эврибионтными**, с узкой — **стенобионтными**. Организмы, переносящие значительные колебания температуры, называются *эвритермными*, а приспособленные к узкому интервалу температур — *стенотермными*. Таким же образом по отношению к давлению различают *эври-* и *стенобатные* организмы, по отношению к степени засоления среды — *эври-* и *стеногалинные* и т.д.

Экологические валентности отдельных индивидуумов не совпадают, поэтому экологическая валентность вида шире экологической валентности каждой отдельной особи. Экологические валентности вида к разным экологическим факторам могут существенно отличаться. Набор экологических валентностей по отношению к разным факторам среды составляет **экологический спектр вида**.

Экологический фактор, количественное значение которого выходит за пределы выносимости вида, называется **лимитирующим (ограничивающим) фактором**. Такой фактор будет ограничивать распространение вида даже в том случае, если все остальные факторы будут благоприятными. Лимитирующие факторы определяют географический ареал вида. Знание человеком лимитирующих факторов для того или иного вида организмов позволяет, изменяя условия среды обитания, либо подавлять, либо стимулировать его развитие.

Можно выделить основные закономерности действия экологических факторов.

- **Закон относительности действия экологического фактора** — направление и интенсивность действия экологического фактора зависят от того, в каких количествах он берется и в сочетании с какими другими факторами действует. Не бывает абсолютно полезных или вредных экологических факторов: все дело в количестве. Например, если температура окружающей среды слишком низкая или слишком высокая, т.е. выходит за пределы выносимости живых организмов, это для них плохо. Благоприятными являются только оптимальные значения. При этом экологические факторы нельзя рассматривать в отрыве друг от друга. Например, если организм испытывает дефицит воды, то ему труднее переносить высокую температуру.
- **Закон относительной заменяемости и абсолютной незаменимости экологических факторов** — абсолютное отсутствие какого-либо из обязательных условий жизни заменить другими экологическими факторами невозможно, но недостаток или избыток одних экологических факторов может быть возмещен действием других экологических факторов. Например, полное (абсолют-

ное) отсутствие воды нельзя компенсировать другими экологическими факторами. Однако если другие экологические факторы находятся в оптимуме, то перенести недостаток воды легче, чем когда и другие факторы находятся в недостатке или избытке.

Между природной средой и обществом существуют сложные взаимодействия, обмен веществом и энергией. **Взаимоотношения общества и природы** — воздействие человеческого общества (антропогенных факторов) на природу и природы (природных факторов) на здоровье и хозяйственную деятельность человека.

Воздействие человека на природу можно классифицировать различным образом. например, разделить на разрушительное, стабилизирующее и конструктивное; прямое и косвенное; преднамеренное и непреднамеренное; длительное и кратковременное; статическое и динамическое; площадное и точечное; глубинное и приповерхностное; глобальное, региональное и локальное; механическое, физическое, химическое и биологическое и т.д.

Разрушительное (деструктивное) воздействие — человеческая деятельность, ведущая к утрате природной средой своих полезных человеку качеств. Например, сведение дождевых лесов под пастбища или плантации, в результате чего нарушается биогеохимический круговорот веществ и почва за два-три года теряет свое плодородие.

Стабилизирующее воздействие — человеческая деятельность, направленная на замедление деструкции (разрушения) природной среды в результате как хозяйственной деятельности человека, так и природных процессов. Например, почвозащитные мероприятия, направленные на уменьшение эрозии почв.

Конструктивное воздействие — человеческая деятельность, направленная на восстановление природной среды, нарушенной в результате хозяйственной деятельности человека или природных процессов. Например, рекультивация ландшафтов, восстановление численности редких видов животных и растений и т.д.

Прямое (непосредственное) воздействие — изменение природы в результате прямого воздействия хозяйственной деятельности человека на природные объекты и явления.

Косвенное (опосредованное) воздействие — изменение природы в результате цепных реакций или вторичных явлений, связанных с хозяйственной деятельностью человека.

Непреднамеренное воздействие является неосознанным, когда человек не предполагает последствий своей деятельности.

Преднамеренное воздействие является осознанным, когда человек ожидает определенных результатов своей деятельности.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение биоценозу и его составляющим.
2. Какова структура биогеоценоза?
3. Кем и когда был предложен термин «экосистема»?
4. На какие три группы делятся экосистемы?
5. Дайте характеристику морским экосистемам.
6. Что такое «экологические факторы» и как их подразделяют?
7. Какова классификация экологических факторов?
8. Какой фактор мы называем лимитирующим?
9. Дайте определение зоны толерантности.
10. Каково воздействие человека на природу?

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ К РАЗДЕЛУ «БИОЛОГИЯ С ЭЛЕМЕНТАМИ ЭКОЛОГИИ»

№ 1. Рассматривание клеток и тканей в оптический микроскоп

Цель работы:

- освоить технику работы со световым микроскопом;
- выявить структурные и функциональные особенности клетки — элементарной единицы всего живого на нашей планете;
- уметь находить основные компоненты клетки под световым микроскопом.

Оборудование и материалы: микроскопы МБР-1, МБИ-1, МБС-1, «Биолам», иммерсионные объективы ($\times 90$), иммерсионное масло, таблицы строения животных и растительных клеток, микропрепараты клетки пленки лука, картофеля, чашки Петри, предметные и покровные стекла, полоски фильтровальной бумаги, стаканчики с водой, пинцеты, ножницы.

Ход работы

1. Знакомство с микроскопом МБС-1

Стереоскопический микроскоп позволяет получить прямое и объемное изображение, которое используется для изучения крупных объектов и для препарирования.

Найдите на микроскопе механическую, осветительную и оптическую части (рис. 1). К *механической части* относятся предметный столик, штатив, оптическая головка, бинокулярная насадка и винт для наводки на фокус.

Столик — это крышка на массивном основании. В центре столика имеется большое круглое отверстие, которое закрывает стеклянная вставка.

Штатив состоит из основания, закрепленного на предметном столике, и мощного стержня.

Оптическая головка — основная часть микроскопа. Она имеет прямоугольную форму. С одной стороны к ней присоединяется бинокулярная насадка, с другой — объектив. На боковой поверхности справа расположен винт для настройки прибора на фокус.

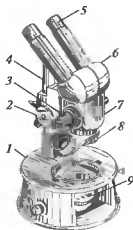


Рис. 1. Микроскоп МБС-1:

- 1 — предметный столик; 2 — винт для наводки на фокус;
 3 — устройство для регулировки степени увеличения; 4 — штатив;
 5 — окуляр; 6 — бинокулярная насадка; 7 — оптическая
 головка; 8 — объектив; 9 — зеркало

Бинокулярная насадка состоит из двух цилиндрических трубок, в которые вставлены окуляры. Расстояние между окулярами можно изменять, раздвигая или сближая их руками, что позволяет соединить два изображения в одно и добиться стереоскопического (объемного) эффекта.

К *осветительной части* относится зеркало. Оно находится внутри основания и имеет две плоские поверхности — зеркальную и матовую. Зеркальная поверхность используется при естественном освещении, а матовая — при искусственном. Регулировать положение зеркала можно винтом, который находится на основании с правой стороны (или колесиком на задней стороне основания).

К *оптической части* относятся барабан с оптическими насадками и окуляры.

Барабан с оптическими насадками представляет собой ось, на гранях которой закреплены линзы различной силы увеличения. Часть оси выведена из оптической головки и имеет цифры 0,6; 1; 2; 4; 7. Они обозначают кратность увеличения линзы, закрепленной на этой грани. Вращая ось, можно подобрать нужное увеличение. Правильная установка линзы сопровождается легким щелчком.

Окуляры закреплены в трубках бинокулярной насадки. Кратность их увеличения обозначена нанесенными на них цифрами.

2. Правила работы с микроскопом МБС-1

1. Установите микроскоп штативом к себе и расположите так, чтобы свет через вырез попадал на зеркало в основании.
2. Смотрите в окуляры и, вращая зеркало, добейтесь интенсивного и равномерного освещения поля зрения.
3. Поместите микропрепарат на стеклянную вставку предметного столика.
4. Установите барабан в положение, соответствующее цифре 1, и, опуская или поднимая оптическую головку с помощью винта, добейтесь четкого изображения объекта.
5. Сдвигая или раздвигая окулярные трубки, добейтесь, чтобы два изображения слились в одно.
6. Следите, чтобы ось оптической головки совпадала с центром стеклянной вставки, иначе поле зрения может освещаться неравномерно.
7. При переносе микроскопа держите его правой рукой за штатив, а левой рукой поддерживайте основание.

3. Приготовление временного препарата

Возьмите из чашки Петри предметное стекло и положите его на стол. Стекло нужно держать за боковые грани. Поместите в центр стекла объект (волокна ваты или два отрезка волос длиной 1,5 см, положив их крестиком). Нанесите на объект одну-две капли воды.

Возьмите покровное стекло за боковые грани и положите его аккуратно боковой гранью на каплю воды. Когда капля равномерно распределится по всей грани, медленно опустите на нее стекло. Излишки воды уберите фильтрованной бумагой. Рассмотрите готовый препарат под микроскопом. Препарат называется *временным*, так как тонкий слой воды между стеклами быстро высыхает.

4. Рассматривание клетки пленки лука и клетки листа элодеи

Отделите мясистую чешуйку луковички. Снимите с ее внутренней стороны тонкую пленку. Отрежьте кусочек пленки, положите его на предметное стекло, капните одну-две капли раствора йода и накройте покровным стеклом.

Рассмотрите препарат при малом увеличении (микроскоп МБС-1). Найдите вытянутые, почти прямоугольные клетки (рис. 2). Обратите внимание, что ядра окрашиваются йодом в желто-коричневый цвет и располагаются на периферии, так как в центре клетки находятся крупные вакуоли.

Рассмотрите препарат при большом увеличении. Найдите основные компоненты клетки — толстую двухконтурную оболочку, зернистую цитоплазму и ядро с одним-двумя ядрышками. Более светлые, незернистые пятна представляют собой вакуоли.

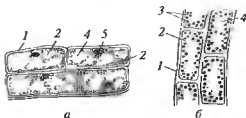


Рис. 2. Строение растительных клеток:

а — пленка лука; *б* — лист элодеи; 1 — оболочка; 2 — цитоплазма; 3 — хлоропласты; 4 — вакуоли с клеточным соком; 5 — ядро с ядрышком

Зарисуйте в альбом одну-две клетки. На рисунке обозначьте: 1) оболочку; 2) цитоплазму; 3) ядро; 4) вакуоли.

5. Клетки листа элодеи

Приготовьте временный препарат. Для этого отделите лист от ветки элодеи, помещенной в стакан с водой. Отрежьте часть листа, положите его на предметное стекло и нанесите одну-две капли воды. Накройте объект покровным стеклом.

Рассмотрите препарат при малом, а затем при большом увеличении (микроскоп МБР-1). Обратите внимание, что все клетки почти правильной прямоугольной формы. Найдите основные компоненты клетки — толстую двухконтурную оболочку и цитоплазму. Ядра не видны, так как препарат не окрашен. В цитоплазме много округлых телец зеленого цвета. Это двухмембранные органеллы — хлоропласты.

Для клетки характерен тургор — давление цитоплазмы на оболочку. При длительном наблюдении можно заметить циклоз — движение цитоплазмы и хлоропластов вдоль стенок. Чтобы движение стало более активным, подогрейте препарат под электролампой.

Зарисуйте в альбом три-четыре клетки. На рисунке обозначьте: 1) оболочку; 2) цитоплазму; 3) хлоропласты.

№ 2. Изучение приспособленности организмов к среде обитания

Цель работы: познакомиться с современными представлениями об эволюции и ее движущими силами.

Оборудование: плакаты и таблицы по теме лабораторной, диск учебника-навигатора.

Ход работы

Изучите материал занятия и выполните предложенные задания.

Адаптации — результат эволюции. Адаптации, или приспособления, — это закрепленные в ходе эволюции особенности строения, функционирования, поведения организмов к условиям среды:

- морфологические;
- физиологические;
- биохимические:
 - организменные,
 - видовые;
- экологические (поведенческие).

Каждое приспособление и весь комплекс их вырабатываются на основе наследственной изменчивости в процессе борьбы за существование и отбора в ряду поколений. Приспособленность организмов является результатом действия движущих сил эволюции в данных условиях существования.

Обратите внимание: адаптации носят относительный характер. Это означает, что при изменении условий полезные признаки могут оказаться бесполезными или даже вредными.

Таблица 1

Пути приспособления организмов к среде		
Активный	Пассивный	Избегание
Регуляция процессов жизнедеятельности в зависимости от изменения условий среды. Повышение устойчивости к неблагоприятным условиям (постоянная температура тела птиц, млекопитающих)	Подчинение процессов жизнедеятельности организмов изменениям условий среды. Снижение уровня обмена веществ (понижение температуры тела у холоднокровных животных)	Избегание неблагоприятных условий среды. Переход на время действия неблагоприятных условий в фазу покоя (куколка у насекомых), миграция (птиц, насекомых, рыб)

Таблица 2

Приспособленность организмов

Виды приспособленности	Значение	Примеры
Форма тела:		
— торпедообразная	Способствует избеганию образования завихрений потоков воды при движении	Акулы, дельфины

Продолжение

Виды приспособленности	Значение	Примеры
— сучковидная, листо- видная	Делает организм незамет- ным среди тех или иных предметов среды	Палочники
— причудливая	Скрывает среди водорослей, коралловых полипов	Морские коньки, удильщики
Окраска тела:		
— покровительственная	Скрывает на фоне окружа- ющей среды	Заяц-беляк, белая куропатка, зеле- ный кузнечик
— расчленяющая	То же на фоне полос света и тени	Зебры, тигры, пчелы, осы
— предостерегающая	Сохранение численности видов, обладающих ядовитыми, обжигающими, жалящими свойствами	Жуки-нарывни- ки, гусеницы
Мимикрия (подражание беззащитных животных хорошо защищенным и обладающим предостерегающей окраской)	Защита от истребления	Осовидки, пче- ловидки, яйца, откладываемые кукушкой
Иглы, колючки, кри- сталлы щавелевокислого калия, накапливающегося в колючках или листьях растений	Пассивная защита от поедания травоядными животными	Кактусы, шипов- ник, боярышник, крапива
Твердые покровы тела	Пассивная защита от поедания плотоядными животными	Жуки, крабы, черепахи
Иглы	Пассивная защита	Дикобразы, ежи
Приспособительное поведение:		
— замирание	То же	Некоторые жуки, земноводные
— угрожающая поза	То же	Бородатая ящерица
— запасание корма	Переживание периода отсутствия или недостатка корма	Кедровка, сойка, бурундук, белка корма

Окончание

Виды приспособленности	Значение	Примеры
Забота о потомстве:		
— вынашивание икры в ротовой полости, в складке кожи на животе	Сохранение потомства	Самцы тилапии, морского конька
— постройка гнезда и выведение в нем потомства	То же	Некоторые рыбы (колюшки), птицы, белки, мыши-малютки
— выкармливание потомства	То же	Птицы, млекопитающие
— обеспечение будущего потомства пищей	То же	Жуки-скарабей, наездники
Физиологические адаптации:		
— удаление избытка воды через почки в виде слабоконцентрированной мочи	Сохранение постоянства внутренней среды организма в условиях жизни в пресной воде	Пресноводные рыбы и земноводные
— потребление большого количества воды и выделение небольшого количества концентрированной мочи	Сохранение постоянства внутренней среды организма в условиях жизни в гиперосмотической среде	Морские рыбы

Контрольные вопросы и задания

1. У растений и животных уголка живой природы рассмотрите черты приспособленности к условиям среды их обитания.
2. Как объяснить возникновение предостерегающей окраски у насекомых?
3. Приведите примеры, кроме указанных в учебнике, относительной приспособленности у растений и животных.
4. Как объяснить относительный характер приспособленности?
5. В чем расходятся взгляды Дарвина и Ламарка по вопросу приспособленности организмов к условиям жизни?

№ 3. Определение частоты дыхания

Цель работы: применить знания, полученные при изучении темы к объяснению проделанных вами опытов.

Оборудование: секундомер.

Актуализация знаний

Газообмен в легких

Состав воздуха	Кислород	Углекислый газ	Азот
Вдыхаемого	21%	0,03%	79%
Выдыхаемого	16%	4%	79%



Жизненная емкость легких (ЖЕЛ) — наибольшее количество воздуха, которое можно выдохнуть после наиболее глубокого вдоха.

ЖЕЛ складывается из дыхательного объема и резервных объемов вдоха и выдоха:

$$\text{ЖЕЛ} = \underset{3500 \text{ см}^3}{\text{Дыхательный Объем}} + \underset{500 \text{ см}^3}{\text{Резервный Объем вдоха}} + \underset{1500 \text{ см}^3}{\text{Резервный Объем выдоха}}.$$

Дыхательный объем (0,5 л) — количество воздуха, которое человек вдыхает и выдыхает при спокойном дыхании.

Резервный объем вдоха (1,5 л) — количество воздуха, которое человек может дополнительно вдохнуть после нормального вдоха.

Резервный объем выдоха (1,5 л) — количество воздуха, которое человек может дополнительно выдохнуть после спокойного выдоха.

Остаточный объем — количество воздуха, остающееся в легких после максимального выдоха. *Функциональная остаточная емкость* — количество воздуха, остающееся в легких после спокойного выдоха. *Резерв вдоха* — максимальное количество воздуха, которое можно вдохнуть после спокойного выдоха.

Общая емкость легких — количество воздуха, содержащееся в легких на высоте максимального вдоха. *Общая емкость легких* равна сумме ЖЕЛ и остаточного объема.

ЖЕЛ — один из важнейших показателей, позволяющих судить о подвижности легких и грудной клетки, и зависит от возраста, пола, физической активности, размеров тела и т.д. Как правило, у женщин ЖЕЛ на 20—25% меньше, чем у мужчин. Так, например, у «среднего» взрослого здорового мужчины в возрасте 20—30 лет ЖЕЛ составляет от 3,5 до 4,8 л; у женщин — от 3 до 3,6 л; у тренированных людей — до 6,0—7,0 л.

После 40 лет ЖЕЛ уменьшается тем больше, чем меньше физическая активность человека, в возрасте 50—60 лет ЖЕЛ у мужчин и женщин, соответственно — 3,8 и 3,0 л.

У молодого мужчины ЖЕЛ в норме можно определить по формуле

$$\text{ЖЕЛ (л)} = \text{Рост (м)} - 2,5;$$

у женщин

$$\text{ЖЕЛ (л)} = \text{Рост (м)} - 2,0.$$

Ход работы

1. Посчитайте, сколько дыхательных движений (вдохов — выдохов) вы совершаете в течение 1 мин., сидя спокойно за столом. Запишите полученный результат.

2. Сделайте 20 приседаний. Посчитайте, сколько дыхательных движений в 1 мин. вы совершили после физической нагрузки. Запишите полученный результат.

3. Сделайте вывод об изменении частоты дыхания при изменении условий.

№ 4. Действие слюны на крахмал

Цель работы: показать, что ферменты слюны способны расщеплять крахмал. Известно, что крахмал с йодом дает интенсивное синее окрашивание, по которому нетрудно узнать, где он сохранился. При обработке крахмала ферментами слюны он разрушается, если ферменты активны. В этих местах крахмала не остается, поэтому они не окрашиваются йодом и остаются светлыми.

Оборудование и материалы: накрахмаленный бинт, нарезанный на куски длиной 10 см, вата, спички, блюдце, аптечный йод (5%-ный), вода.

Ход работы

1. Приготовьте реактив на крахмал — йодную воду. С этой целью в блюдце налейте воду и добавьте несколько капель йода (аптечный 5%-ный спиртовой раствор) до получения жидкости цвета крепко заваренного чая.

2. Намотайте на спичку вату, смочите ее слюной, а затем этой ватой со слюной напишите букву на накрахмаленном бинте.

3. Расправленный бинт зажмите в руках и подержите его некоторое время, чтобы он нагрелся (1—2 мин).

4. Опустите бинт в йодную воду, тщательно расправив его. Участки, где остался крахмал, окрасятся в синий цвет, а места, обработанные слюной, останутся белыми, так как крахмал в них распался до глюкозы, которая под действием йода не дает синего окрашивания.

Если опыт прошел успешно, на синем фоне получится белая буква.

5. Отчет о лабораторной работе — заполните таблицу и сделайте вывод.

Субстрат	Фермент	Результат опыта

6. Допишите выводы.

При проведении этого опыта синяя буква на белом фоне получится (могла или не могла), так как _____

Если слюну прокипятить, то расщеплять крахмал она (будет или не будет) _____, так как _____

Что было субстратом, а что — ферментом, когда Вы писали букву на бинте?

Субстрат _____

Фермент _____

№ 5. Утомление при статической и динамической работе

Цель работы: применить знания, полученные при изучении темы к объяснению проделанных вами опытов.

Оборудование: секундомер, груз 4—5 кг (если взят портфель с книгами, то надо предварительно определить его вес).

Ход работы

1. Испытуемый становится лицом к классу, вытягивает руку в сторону строго горизонтально. Мелом на доске отмечается тот уровень, на котором находится рука. После приготовлений по команде включается секундомер, и испытуемый начинает удерживать груз на уровне отметки. Начальное время указывается в первой строчке таблицы. Затем определяются фазы утомления и также проставляется их время. Выясняется, за какое время наступает предельное утомление. Этот показатель записывается.

2. Отчет о проделанной работе: заполните в таблицу.

Фазы утомления	Признаки утомления	Время
Начало опыта (отсутствие утомления)	_____	
I фаза утомления	_____	
II фаза утомления	_____	
III фаза утомления (предельное утомление)	_____	

Пример заполнения:

Фазы утомления	Признаки утомления	Время
Отсутствие утомления	Рука с грузом неподвижна	
I фаза утомления	Рука опускается, затем рывком поднимается на прежнее место	
II фаза утомления	Дрожание рук, потеря координации, пошатывание корпуса, покраснение лица, потоотделение	
III фаза утомления (предельное утомление)	Рука с грузом опускается; опыт прекращается	

3. Сделайте вывод о работоспособности.

№ 6. Рассматривание крови человека и лягушки под микроскопом

Цель работы: познакомиться со строением и функционированием клеток, необходимых для изучения анатомии, гистологии, физиологии, микробиологии и других дисциплин.

Оборудование и материалы: микроскопы МБР-1 и МБС-1, стаканы с водой, предметные и покровные стекла, пипетки, чашки Петри, готовые препараты клеток крови человека и лягушки.

Ход работы

1. Рассматривание клеток крови лягушки

Возьмите готовый препарат клеток крови лягушки. Рассмотрите его при малом и большом увеличении микроскопа (МБР-1). Найдите эритроциты — клетки с цитоплазмой розового цвета и сине-фиолетовыми ядрами продолговатой формы (рис. 1). Обратите внимание, что в отличие от растительных клеток животные клетки-эритроциты овальной формы и не имеют клеточной стенки. Среди эритроцитов можно найти лейкоциты. В отличие от эритроцитов их форма округлая, а ядра либо округлые — у лимфоцитов, либо разделены на сегменты — у нейтрофилов.



Рис. 1. Кровь лягушки:

1 — эритроцит; 1а — мембрана; 1б — ядро; 2 — лимфоцит;
3 — тромбоцит, 4 — лейкоциты

2. Рассматривание клеток крови человека

Возьмите готовый препарат клеток крови человека. Рассмотрите его при малом и большом увеличении (микроскоп МБР-1). Найдите

эритроциты — мелкие безъядерные клетки со светло-розовой цитоплазмой. Их центральная часть имеет зону просветления, что свидетельствует о двояковогнутом строении этих клеток (рис. 2).

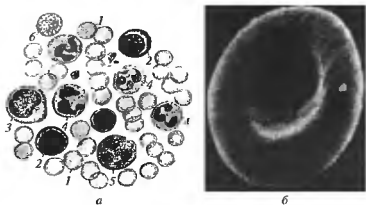


Рис. 2. Клетки крови человека:

- a* — мазок периферической крови взрослого человека. 1 — эритроциты, 2 — лимфоциты, 3 — моноцит, 4 — нейтрофильные гранулоциты, 5 — эозинофильные гранулоциты, 6 — базофильные гранулоциты, 7 — тромбоциты; *б* — эритроцит нормальной формы (дискоцит)

Среди эритроцитов видны лейкоциты. Их форма варьируется от округлой до амебоидной.

Лейкоциты окрашены в темно-синий цвет и, в отличие от эритроцитов, содержат ядра. В нейтрофилах ядра разделены на сегменты, в лимфоцитах — округлой формы.

Зарисуйте в альбом несколько эритроцитов и лейкоцитов. На рисунке обозначьте: 1) эритроцит; 2) лимфоцит; 3) нейтрофил; 4) мембрану; 5) цитоплазму; 6) ядро; 7) зону просветления.

ЛИТЕРАТУРА

I. К разделу «Физика»

1. *Дмитриева В.Ф.* Физика : учебник для обучающихся в начальных и средних профессиональных учебных заведениях. М. : Академия, 2012.
2. *Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б., Сотский Н.Н.* Физика. 10 класс. М. : Просвещение, 2006.
3. *Мякишев Г.Я., Буховцев Б.Б.* Физика. 11 класс. М. : Просвещение, 2006.
4. *Рымкевич А.П.* Физика. Задачник. 10—11 класс. М. : Дрофа, 2011.
5. *Самойленко П.И., Сергеев А.В.* Физика для нетехнических специальностей. М. : Академия, 2010.

II. К разделу «Химия»

6. *Габриелян О.С.* Настольная книга учителя химии. 9 класс. М. : Блик и К°, 2001.
7. *Габриелян О.С.* Химия. 10 класс. М. : Дрофа, 2008.
8. *Габриелян О.С.* Химия. 11 класс. М. : Дрофа, 2010.
9. *Корощенко А.С., Иванова Р.Г., Добротин Д.Ю.* Химия. дидактические материалы. М. : Владос, 2003.
10. *Фельдман Ф.Г., Рудзитис Д.Е.* Химия : учебник для 8—11 классов средней школы. М. : Просвещение, 1991.
11. Химия : справочные материалы / под ред. Ю.Д. Третьякова. 3-е изд. М. : Просвещение, 1993.

III. К разделу «Биология»

12. Анатомия человека. Системы и органы. Анатомические таблицы / пер. с англ. Б.Б. Махияновой. М. : АСТ : Астрель : Харвест, 2007.
13. *Билин Г.Л., Крыжановский В.А.* Биология. Полный курс. Т. 1. Анатомия. М. : Оникс, 2009.
14. *Каменский А.А.* Введение в общую биологию и экологию. М. : Дрофа, 2008.
15. *Каменский А.А., Криксунов Е.А., Пасечник В.В.* Биология. 10—11 класс. М. : Дрофа, 2009.
16. *Козесников С.И.* Общая биология. СПО. Ростов-н/Д. : Феникс, 2005.
17. *Колесов Д.В., Маш Р.Д., Беляев И.Н.* Биология. Человек. 8 класс. М. : Дрофа, 2010.
18. *Сонин Н.И., Сапин М.Р.* Биология. Человек. 8 класс. М. : Дрофа, 2010.

Тематическая подборка издательства «КНОРУС»

1. *Бочкарёв А.И.* Концепции современного естествознания : учеб. пособие. М. : КНОРУС, 2013.
2. *Балдин К.В.* Концепции современного естествознания : учеб. пособие. М. : КНОРУС, 2013.
3. *Гиреев А.А.* Концепции современного естествознания. Конспект лекций : учеб. пособие. М. : КНОРУС, 2013.
4. *Карпенков С.Л.* Концепции современного естествознания : учебник. М. : КНОРУС, 2012.
5. *Садухин А.П.* Концепции современного естествознания : учеб. пособие. М. : КНОРУС, 2012.