

О. С. Gabrielyan, И. Г. Ostroymov,
Н. С. Puryшева, С. А. Sладков,
В. И. Cивоглазов

БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

11

класс

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ



дрофа

О. С. Габриелян, И. Г. Остроумов,
Н. С. Пурешева, С. А. Сладков,
В. И. Сивоглазов

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ

Учебник



МОСКВА



2014

БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

11

К Л А С С



УДК 373.167.1:501
ББК 20я72
Г12

**Учебник получил положительное заключение
Российской академии наук (№ 10106-5215/162 от 12.10.2012 г.)
и Российской академии образования (№ 01-5/7д-443 от 11.10.2012 г.)**

Габриелян, О. С.

Г12 **Естествознание. Базовый уровень. 11 кл. : учебник / О. С. Габриелян, И. Г. Остроумов, Н. С. Пурышева, С. А. Сладков, В. И. Сивоглазов. — М. : Дрофа, 2013. — 334, [2] с. : ил.**

ISBN 978-5-358-10769-4

Учебник предназначен учащимся 11 классов гуманитарного, социально-экономического, информационно-технологического профиля и является продолжением курса «Естествознание» для 10 класса тех же авторов.

Учебник по новому учебному курсу «Естествознание» создан с учетом современных научных представлений, соответствует требованиям, заявленным в ФГОС, и включает разделы «Микромир. Атомы. Вещества. Реакции», «Человек и его здоровье», «Естествознание на службе человека».

В конце каждого параграфа даны результаты его изучения, темы рефератов, задания, позволяющие применить полученные знания. Каждая глава завершается методическими рекомендациями по проведению исследовательских работ. Таким образом, содержание учебника полностью реализует требования ФГОС среднего (полного) общего образования.

**УДК 373.167.1:501
ББК 20я72**

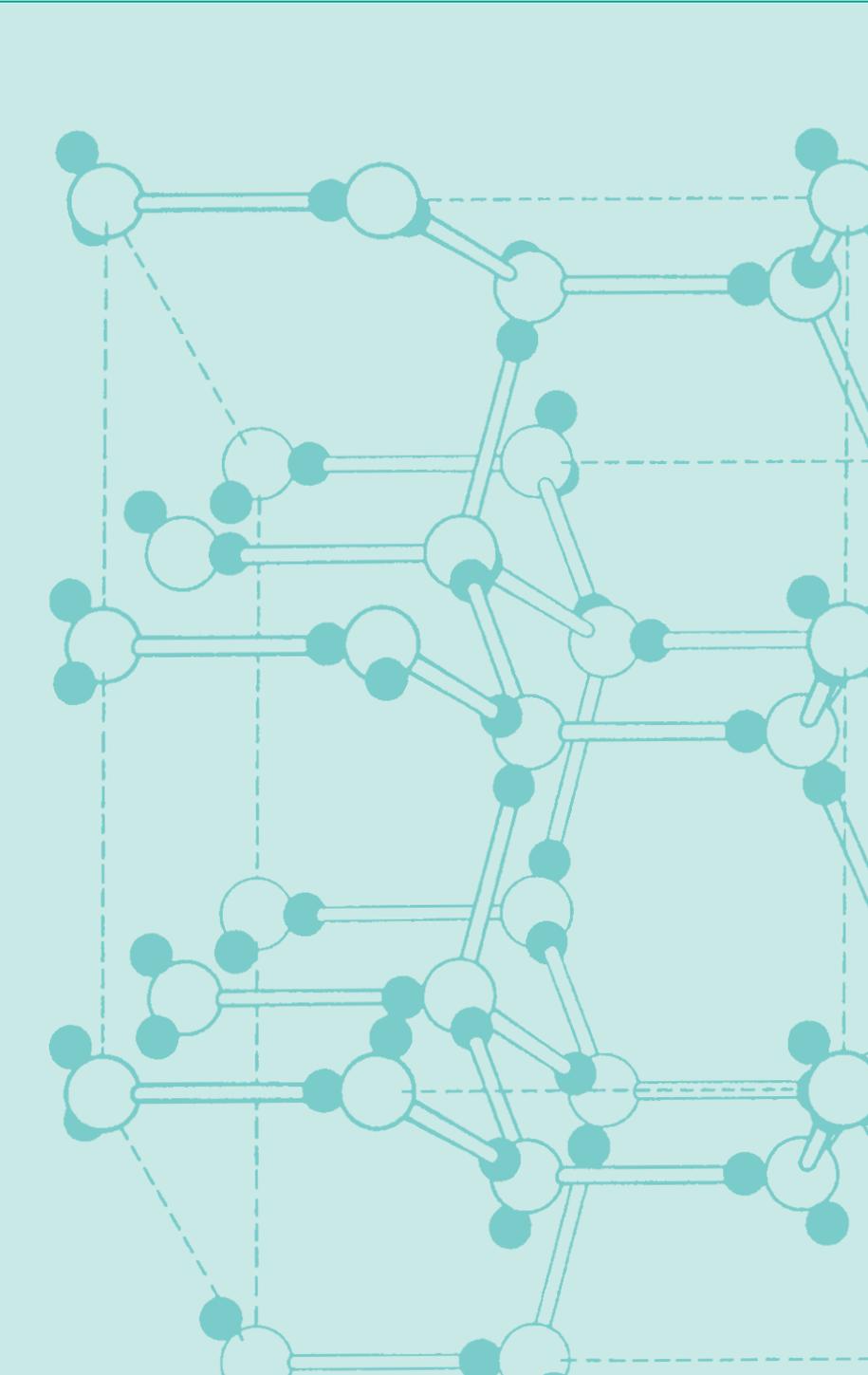
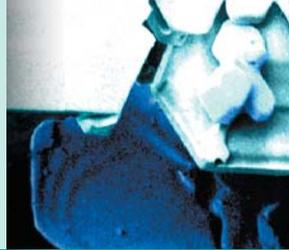
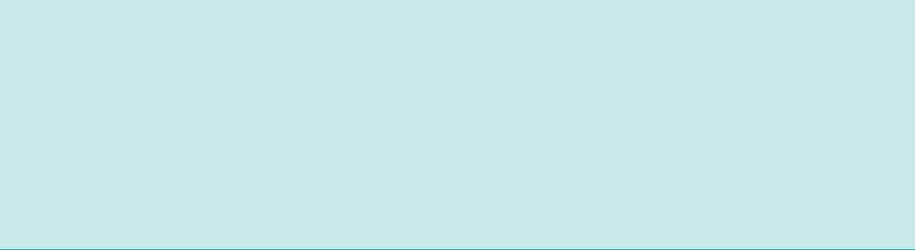
ISBN 978-5-358-10769-4

© ООО «ДРОФА», 2013

глава

Микромир. Атомы. Вещества. Реакции





§ 1. Основные сведения о строении атома

1. Назовите выдающихся учёных Древней Греции, разработавших теорию, согласно которой материальные вещи состоят из химически неделимых частиц — атомов.
2. Перечислите физические явления, доказывающие двойственную природу частиц микромира.
3. Покажите на примерах открытий в физике XIX—XX вв., как эволюционировали представления о строении атома.

СХЕМА ЭВОЛЮЦИИ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О СТРОЕНИИ АТОМА. Понятие «атом» пришло к нам из античных времён, но первоначальный смысл, который вкладывали в это понятие древние греки, совершенно изменился. Как вы помните, в переводе с греческого «атом» означает «неделимый». Однако большое число экспериментальных фактов свидетельствует о том, что атом имеет сложное строение и состоит из положительно и отрицательно заряженных частиц. К таким фактам относятся, например, явления электризации, электрической проводимости и некоторые другие. Некоторые сведения о строении атома вы получили из школьных курсов физики и химии, а также из курса естествознания за 10 класс. Ещё раз рассмотрим эволюцию представлений о строении атома, представив её в виде схемы.

Атом — неделимая частица химического элемента



Доказательства сложности строения атома путём открытия
— рентгеновских лучей (К. Рентген, 1895);
— катодных лучей (Дж. Томсон, 1897);
— радиоактивности (А. Беккерель, 1896) и её изучение (М. Склодовская-Кюри, П. Кюри, 1897—1903)



Модели строения атома

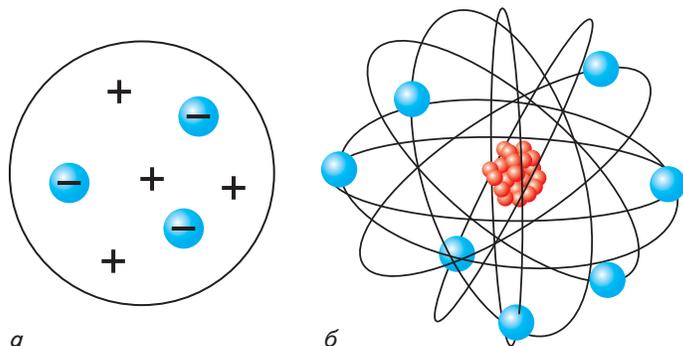
— «пудинг с изюмом» (У. Кельвин, Дж. Томсон, 1902—1904);
— планетарная модель (Э. Резерфорд, 1907);
— модель Н. Бора (1913)



Современные представления о строении атома на основе квантовой механики

Рис. 1. Модели строения атома:

а — Дж. Томсона;
б — Э. Резерфорда

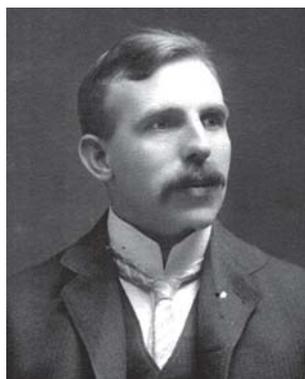


МОДЕЛИ АТОМОВ ДЖ. ТОМСОНА И Э. РЕЗЕРФОРДА. В 1904 г. в работе «О структуре атома» *Дж. Томсон* (1856—1940) дал описание своей модели, получившей образное название «пудинг с изюмом». В этой модели атом уподоблен сферической капле («пудингу»), имеющей положительный заряд (рис. 1, *а*). Внутри сферы вкраплены, как изюм в пудинге, отрицательно заряженные электроны. Электроны совершают колебательные движения, благодаря которым атом излучает электромагнитную энергию. В целом атом электронейтрален. Модель атома Дж. Томсона не была подтверждена экспериментальными фактами и осталась гипотезой.



Джозеф Томсон

В 1907 г. *Э. Резерфорд* (1871—1937), облучая тонкую золотую фольгу быстрыми альфа-частицами (ядрами атома гелия), заметил, что большая часть частиц проходит сквозь фольгу, не отклоняясь, значительно меньшая часть отклоняется от первоначальной траектории на небольшие углы и совсем малая часть отклоняется на углы от 90 до 180°.



Эрнест Резерфорд

Исходя из результатов проделанного опыта, Резерфорд предложил **планетарную модель атома**, согласно которой атом состоит из небольшого, но массивного положительно заряженного ядра и лёгких электронов, которые движутся вокруг него по замкнутым орбитам (рис. 1, *б*), подобно тому как движутся планеты вокруг Солнца.

Объясним результаты опыта Резерфорда, используя планетарную модель строения атома. Альфа-частицы, которые прошли сквозь фольгу не отклоняясь, попали в пространство между ядром и электронами. Поскольку раз-

меры ядра и электрона по сравнению с размером атома малы, таких частиц оказалось большинство. Те альфа-частицы, которые испытали столкновение с электронами, отклонились на небольшие углы, ну а те, что столкнулись с ядром, — отклонились на углы от 90 до 180°. Хорошо согласуясь с опытом по рассеянию альфа-частиц, модель Резерфорда, тем не менее, не могла объяснить процессы излучения и поглощения энергии атомом, а также его устойчивость. Ведь если электроны при своём движении излучают энергию, то в конце концов они должны упасть на ядро и атом тем самым должен прекратить своё существование. Однако этого не происходит.



Нильс Бор

ПОСТУЛАТЫ БОРА. В 1913 г. *Н. Бор* (1885—1962) предложил квантовую модель строения атома, основой которой послужили разработанные им постулаты:

1-й постулат — электрон движется вокруг ядра по строго определённым замкнутым стационарным орбитам в соответствии с «разрешёнными» значениями энергии E_1, E_2, \dots, E_n , при этом энергия не поглощается и не излучается;

2-й постулат — электрон переходит из одного «разрешённого» энергетического состояния в другое, что сопровождается излучением или поглощением кванта энергии.

Н. Бор внёс квантовые представления в строение атома, но использовал при этом традиционные классические понятия механики, рассматривая электрон как частицу, движущуюся со строго определёнными скоростями по строго определённым траекториям. Его теория была построена на противоречиях.

ПРОТОННО-НЕЙТРОННАЯ ТЕОРИЯ ЯДРА. В 1932 г. независимо друг от друга российским физиком *Д. Иванёнко* (1904—1994) и немецким физиком *В. Гейзенбергом* (1901—1976) была разработана протонно-нейтронная теория ядра, согласно которой ядра атомов состоят из протонов и нейтронов (рис. 2).

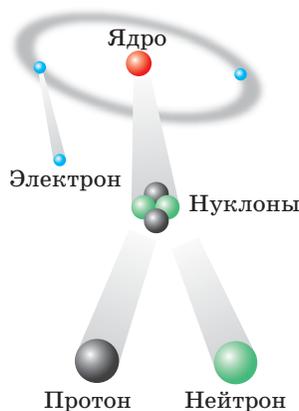


Рис. 2. Схема строения атома

Атом — это электронейтральная система взаимодействующих элементарных частиц, состоящая из ядра (образованного протонами и нейтронами) и электронов.

Число электронов в атоме как электронейтральной частице равно числу протонов в ядре, т. е. соответствует порядковому номеру химического элемента.

Важнейшей характеристикой электрона является энергия его связи с атомом.

Электроны, обладающие близкими значениями энергии, образуют один электронный слой, или энергетический уровень.

Наименьшей энергией обладают электроны 1-го энергетического уровня, наиболее близкого к атомному ядру. По сравнению с ними электроны последующих уровней будут иметь больший запас энергии. Таким образом, самой большой энергией обладают электроны внешнего уровня, которые именно поэтому и наименее прочно связаны с ядром атома.

Электрон в атоме не имеет траектории движения, т. е. можно говорить лишь о вероятности нахождения его в пространстве. Он может находиться в любой части пространства, окружающего ядро. Совокупность различных положений электрона рассматривают как **электронное облако** с определённой плотностью отрицательного заряда.

» **Напомним**, что число энергетических уровней (электронных слоёв) в атоме соответствует номеру периода в таблице Д. И. Менделеева, в котором располагается химический элемент, — у атомов элементов 1-го периода — один уровень, 2-го периода — два, 7-го периода — семь.

*Пространство вокруг атомного ядра, в котором наиболее вероятно нахождение электрона, называется **орбиталью** или **электронным облаком**.*



В следующем параграфе будет подробнее рассмотрено, как связаны между собой строение атома и периодический закон Менделеева.

Теперь вы знаете

- ▶ как менялись представления о строении атома с развитием физики
- ▶ модели атомов Дж. Томсона и Э. Резерфорда
- ▶ постулаты Н. Бора
- ▶ в чём заключается протонно-нейтронная теория ядра
- ▶ что такое электронная оболочка атома, энергетический уровень электронов, электронное облако

☉ Теперь вы можете

- ▶ объяснить, в чём разница моделей атома Дж. Томсона, Э. Резерфорда и Н. Бора
- ▶ сформулировать, что такое атом, изотоп, химический элемент и чем они отличаются друг от друга
- ▶ определить число энергетических уровней в атоме по номеру периода в таблице Д. И. Менделеева, в котором находится данный химический элемент

☉ Выполните задания

1. Назовите модели сложного строения атома. Охарактеризуйте их достоинства и недостатки.
2. Из курса естествознания 10 класса вспомните, как физические явления интерференции и дифракции доказывают двойственную природу частиц микромира.
3. Объясните, почему свойства различных изотопов одного и того же элемента идентичны, хотя их относительная атомная масса различна.
4. Дайте определения понятий: «электронная оболочка атома», «энергетический уровень электрона», «электронное облако (орбиталь)».
5. Запишите схемы распределения электронов по энергетическим уровням для атомов элементов, имеющих в Периодической системе порядковые номера 6, 15, 20.
6. Прочитайте отрывок из стихотворения В. Брюсова «Мир электрона» и проанализируйте его с точки зрения «физиков» и «лириков».

Быть может, эти электроны —
Миры, где пять материков,
Искусства, званья, войны, троны
И память сорока веков!

Ещё, быть может, каждый атом —
Вселенная, где сто планет;
Там — всё, что здесь, в объёме сжатом,
Но также то, чего здесь нет.

☉ Темы для рефератов

1. Открытия, в результате которых было доказано сложное строение атома.
2. Сравнительная характеристика моделей атома Дж. Томсона, Э. Резерфорда и Н. Бора.
3. Жизнь и научная деятельность Д. Д. Иваненко.
4. Вклад в науку нобелевского лауреата В. Гейзенберга.

§ 2. Периодический закон и строение атома

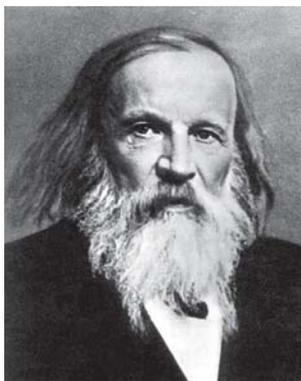
1. Перечислите химические элементы из таблицы Д. И. Менделеева, названные в честь героев греческих мифов, великих учёных, городов и стран, планет.
2. Назовите учёных-химиков — предшественников Д. И. Менделеева.

ОТКРЫТИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЗАКОНА Д. И. МЕНДЕЛЕЕВЫМ. Периодический закон и Периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева — величайшее открытие конца XIX в., основа современной химии, динамичное и развивающееся учение. Оно отражает явления, реально существующие в природе, и поэтому никогда не потеряет своего значения.

Открытие периодического закона и Периодической системы химических элементов было подготовлено всем ходом развития химии, однако потребовалась гениальность Д. И. Менделеева, его дар научного предвидения, чтобы эти закономерности были сформулированы и графически представлены в виде таблицы.

Менделеев расположил все известные во второй половине XIX в. химические элементы в ряд (рис. 3) по возрастанию их относительных атомных масс (во времена Менделеева эту величину называли атомным весом) и выделил в нём отрезки — периоды, где свойства элементов и образованных ими веществ изменялись сходным образом, а именно (в современных терминах):

- металлические свойства ослабевали;
- неметаллические свойства усиливались;
- степень окисления элемента в высших оксидах увеличивалась с +1 до +7 (+8);
- степень окисления элементов в гидридах (твёрдых солеподобных соединениях металлов с водородом) увеличивалась с +1 до +3, а затем увеличивалась в летучих водородных соединениях с -4 до -1;
- оксиды от основных через амфотерные сменялись кислотными;
- гидроксиды от щелочей через амфотерные гидроксиды сменялись всё более сильными кислотами.



Дмитрий Иванович Менделеев

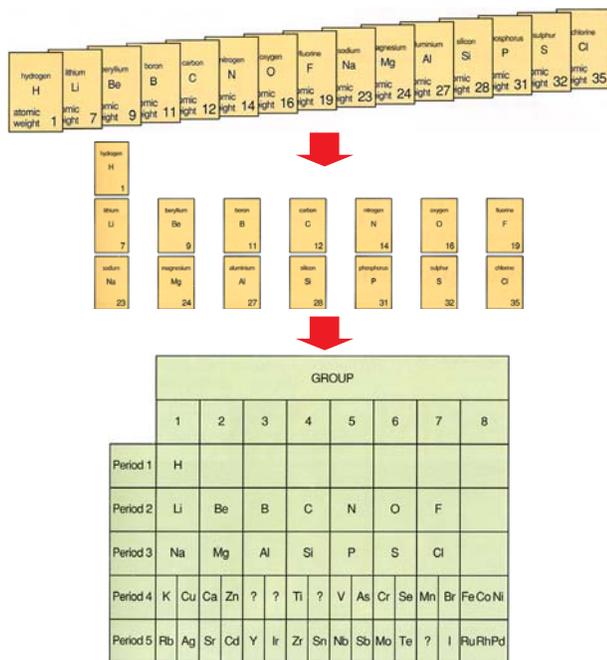


Рис. 3. Так рождалась таблица химических элементов Д. И. Менделеева

На основании этих наблюдений Д. И. Менделеев сформулировал **периодический закон**.

Свойства химических элементов и образованных ими веществ находятся в периодической зависимости от их относительных атомных масс.

Днём рождения периодического закона химических элементов считается 1 марта 1869 г.

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН И УЧЕНИЕ О СТРОЕНИИ АТОМА. Формулировка периодического закона, данная Менделеевым, отражала состояние науки на тот период времени, когда о сложном строении атома учёные только догадывались. Научная интуиция позволила Менделееву выявить закономерности, угадать порядок расположения элементов и создать такую таблицу, которая, будучи довольно простой, максимально характеризует строение атомов химических элементов и на протяжении почти полутора столетий не претерпела никаких принципиальных изменений.

Последующие открытия в области физики и химии только дополняли и углубляли открытие Менделеева. Как вы уже знаете, учёные доказали сложное строение атома, предложили модели, отражающие это сложное строение, а также открыли существование изотопов.

В 1913 г. английский физик *Г. Мозли* (1887—1915) доказал, что заряд ядра атома каждого элемента в таблице Менделеева возрастает на единицу по сравнению с зарядом ядра атома предыдущего элемента. Следовательно, заряд атомного ядра совпадает с порядковым номером элемента в таблице Менделеева. Таким образом, закон Мозли подтвердил правильность размещения элементов в Периодической системе Менделеева.

Эти открытия потребовали от учёных уточнить первую, менделеевскую, формулировку периодического закона. В современной редакции этот закон звучит так:

свойства химических элементов и образованных ими веществ находятся в периодической зависимости от величины положительного заряда их атомных ядер.

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И УЧЕНИЕ О СТРОЕНИИ АТОМА. Периодическая система Д. И. Менделеева — это графическое выражение периодического закона.

Существует множество различных модификаций периодических систем химических элементов, однако наиболее употребительны две: короткопериодная — в средней школе (рис. 4) и длиннопериодная — в высшей.

Порядковый номер элемента, номер периода и номер группы в Периодической системе отражают какую-либо особенность или закономерность в строении атомов химических элементов.

Так, *порядковый номер элемента*, как вы знаете, соответствует заряду атомного ядра, т. е. числу протонов в нём, и числу электронов на электронной оболочке атома, так как он электронейтрален. Число нейтронов для разных изотопов химического элемента определяют по формуле: $N = A - Z$, где N — число нейтронов, A — массовое число атома, Z — атомный номер элемента.

Например, алюминий ${}_{27}^{13}\text{Al}$, порядковый номер которого 13, имеет ядро, состоящее из 13 протонов и соответственно 13 электронов на электронной оболочке атома. Массовое число алюминия — 27, значит, в ядре атома содержится 14 нейтронов.

Номер периода указывает на число энергетических уровней (электронных слоёв) в атоме.

Номер группы (каждая группа состоит из главной и побочной подгруппы) указывает на число электронов на внешнем уровне атомов для

Как формула, как график трудовой,
Строй менделеевской системы строгой.
Вокруг тебя творится мир живой,
Входи в него, вдыхай, руками трогай.

С. Щупачёв



ПЕРИОДЫ	Г Р У П П Ы																				
	A I B			A II B			A III B			A IV B			A V B								
1	(H)																				
2	Li 3 Lithium 6,941 Литий			Be 4 Beryllium 9,01218 Бериллий			B 5 Borum 10,811 Бор			C 6 Carboneum 12,011 Углерод			N 7 Nitrogenium 14,0067 Азот								
3	Na 11 Natrium 22,98977 Натрий			Mg 12 Magnesium 24,30 Магний			Al 13 Aluminium 26,98154 Алюминий			Si 14 Silicium 28,0855 Кремний			P 15 Phosphorus 30,97376 Фосфор								
4	K 19 Kalium 39,0983 Калий			Ca 20 Calcium 40,078 Кальций			21 Sc 44,95591 Scandium Скандий			22 Ti 47,88 Titanium Титан			23 V 50,9415 Vanadium Ванадий								
	29 Cu 63,546 Cuprum Медь			30 Zn 65,39 Zincum Цинк			Ga 31 Gallium 69,723 Галлий			Ge 32 Germanium 72,59 Германий			As 33 Arsenicum 74,9216 Мышьяк								
5	Rb 37 Rubidium 85,4678 Рубидий			Sr 38 Strontium 87,62 Стронций			39 Y 88,9059 Yttrium Иттрий			40 Zr 91,224 Zirconium Цирконий			41 Nb 92,9064 Niobium Ниобий								
	47 Ag 107,8682 Argentum Серебро			48 Cd 112,41 Cadmium Кадмий			In 49 Indium 114,82 Индий			Sn 50 Stannum 118,710 Олово			Sb 51 Stibium 121,75 Сурьма								
6	Cs 55 Cesium 132,9054 Цезий			Ba 56 Barium 137,33 Барий			57 La* 138,9055 Lanthanum Лантан			72 Hf 178,49 Hafnium Гафний			73 Ta 180,9479 Tantalum Тантал								
	79 Au 196,9665 Aurum Золото			80 Hg 200,59 Hydrargyrum Ртуть			Tl 81 Thallium 204,383 Таллий			Pb 82 Plumbum 207,2 Свинец			Bi 83 Bismuthum 208,9804 Висмут								
7	Fr 87 Francium [223] Франций			Ra 88 Radium [226] Радий			89 Ac** [227] Actinium Актиний			104 Rf [261] Rutherfordium Резерфордий			105 Db [262] Dubnium Дубний								
*ЛАНТАНОИДЫ	58 Ce 140,12 Cerium Церий			59 Pr 140,9077 Praseodymium Празеодим			60 Nd 144,24 Neodymium Неодим			61 Pm [145] Promethium Прометий			62 Sm 150,36 Samarium Самарий			63 Eu 151,96 Europium Европий			64 Gd 157,25 Gadolinium Гадолиний		
**АКТИНОИДЫ	90 Th 232,0381 Thorium Торий			91 Pa [231] Protactinium Протактиний			92 U 238,0289 Uranium Уран			93 Np [237] Neptunium Нептуний			94 Pu [244] Plutonium Плутоний			95 Am [243] Americium Америций			96 Cm [247] Curium Кюрий		

Рис. 4. Периодическая таблица элементов Д. И. Менделеева (короткий вариант)

элементов главных подгрупп или на максимальное число валентных электронов для элементов обеих подгрупп.

Валентными называются те электроны, которые могут принимать участие в образовании химической связи. Для элементов главных подгрупп такими электронами являются электроны внешнего

Э Л Е М Е Н Т О В

A VI B		A VII B		A VIII B	
	H 1 1,00794 Hydrogenium Водород		He 2 4,002602 Helium Гелий		
O 8 15,9994 Oxygenium Кислород		F 9 18,998403 Fluorum Фтор		Ne 10 20,179 Neon Неон	
S 16 32,066 Sulfur Сера		Cl 17 35,453 Chlorum Хлор		Ar 18 39,948 Argon Аргон	
24	Cr 24 51,9961 Chromium Хром	25	Mn 25 54,9380 Manganum Марганец	26	Fe 26 55,847 Ferrum Железо
		27	Co 27 58,9332 Cobaltum Кобальт	28	Ni 28 58,69 Niccolum Никель
Se 34 78,96 Selenium Селен		Br 35 79,904 Bromum Бром		Kr 36 83,80 Krypton Криптон	
42	Mo 42 95,94 Molybdaenum Молибден	43	Tc 43 [98] Technetium Технеций	44	Ru 44 101,07 Ruthenium Рутений
				45	Rh 45 102,9055 Rhodium Родий
				46	Pd 46 106,42 Palladium Палладий
Te 52 127,60 Tellurium Теллур		I 53 126,9045 Iodum Иод		Xe 54 131,29 Xenon Ксенон	
74	W 74 183,85 Wolframium Вольфрам	75	Re 75 186,207 Rhenium Рений	76	Os 76 190,2 Osmium Осмий
				77	Ir 77 192,22 Iridium Иридий
				78	Pt 78 195,08 Platinum Платина
Po 84 [209] Polonium Полоний		At 85 [210] Astatium Астат		Rn 86 [222] Radon Радон	
106 [263]	Sg 106 Seaborgium Сиборгий	107 [262]	Bh 107 Bohrium Борий	108 [265]	Hs 108 Hassium Хассий
				109 [266]	Mt 109 Meitnerium Мейтнерий
				110 []	

65 158,9254	Tb 65 Terbium Тербий	66 162,50	Dy 66 Dysprosium Диспрозий	67 164,9304	Ho 67 Holmium Гольмий	68 167,26	Er 68 Erbium Эрбий	69 168,9342	Tm 69 Thulium Тулий	70 173,04	Yb 70 Ytterbium Иттербий	71 174,967	Lu 71 Lutetium Лютеций
97 [247]	Bk 97 Berkelium Берклий	98 [251]	Cf 98 Californium Калифорний	99 [252]	Es 99 Einsteinium Эйнштейний	100 [257]	Fm 100 Fermium Фермий	101 [258]	Md 101 Mendelevium Менделевий	102 259,1009	No 102 Nobelium Нобелий	103 260,1054	Lr 103 Lawrencium Лоуренсий

энергетического уровня, и их число соответствует номеру группы. Для элементов побочных подгрупп валентными являются электроны не только внешнего, но и предвнешнего энергетического уровня, однако и в этом случае их максимальное число соответствует номеру группы.

Особенности строения атома объяснили и закономерности изменения свойств элементов в периодах и группах.

В пределах одного и того же периода металлические свойства ослабевают, а неметаллические усиливаются, так как:

- увеличиваются заряды атомных ядер элементов;
- увеличивается число электронов на внешнем энергетическом уровне атомов;
- не изменяется число энергетических уровней в атомах элементов;
- уменьшается радиус атомов.

В пределах одной и той же группы (в главной подгруппе) металлические свойства усиливаются, а неметаллические ослабевают, так как:

- увеличиваются заряды атомных ядер элементов;
- не изменяется число электронов на внешнем энергетическом уровне;
- увеличивается число энергетических уровней атомов;
- увеличивается радиус атомов.

В больших периодах (4—6) эти изменения происходят медленнее, чем в малых (1—3), так как у атомов элементов побочных подгрупп строится не внешний, а предвнешний уровень и только потом начинает достраиваться внешний уровень (от 2 до 8 электронов в соответствии с номером группы).

Эти особенности в строении атомов химических элементов позволяют ответить на вопрос, почему заряд атомного ядра элемента в Периодической системе химических элементов Д. И. Менделеева возрастает *монотонно*, а свойства изменяются *периодически*, и дать ещё одну, причинно-следственную, формулировку периодического закона.

Свойства химических элементов и образованных ими веществ находятся в периодической зависимости от строения внешних и предвнешних электронных слоёв их атомов.

ЗНАЧЕНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЗАКОНА И ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ.

Периодический закон и Периодическая система Д. И. Менделеева — это триумф российской химической науки. Все учёные, которые занимались поиском естественной классификации химических элементов, находились в равных условиях, имели одни и те же научные предпосылки (т. е. накопленный фактологический материал) для обобщения. Почему же ни одному из них, кроме Менделеева, не удалось открыть периодический закон?

Очевидно, здесь сыграл роль субъективный, личностный фактор. Менделеев имел энциклопедические знания, умел обобщать факты и выдвигать на их основе гипотезы.

Остаётся только недоумевать, почему Нобелевский комитет в 1886 г. из двух кандидатур — французского учёного **А. Муассана** (1852—1907) и русского учёного Д. Менделеева — отдал предпочтение французу. Очевидно, немаловажную роль в этом решении сыграл тот факт, что кандидатуру Муассана выдвинула Французская академия наук, а кандидатуру Менделеева — Академия наук Германии. Стыдно признать, но Менделеев, будучи почётным членом почти всех европейских академий наук, так и не был избран членом Российской академии наук, хотя баллотировался в неё не раз. Пожалуй, странно выглядит и Лондонское королевское общество, которое в 1882 г. присудило Менделееву медаль Дэви (являвшуюся аналогом медали нобелевского лауреата) «За открытие периодических соотношений атомных весов», а через 5 лет, в 1887 г., вручило такую же медаль своему соотечественнику **Дж. Ньюлендсу** (1837—1898) «За открытие периодического закона химических элементов».

«Гениальный химик, первоклассный физик, плодотворный исследователь в области гидродинамики, метеорологии, геологии, в различных отделах химической технологии (взрывчатые вещества, нефть, учение о топливе) и других сопредельных с химией и физикой дисциплинах, глубокий знаток химической промышленности и промышленности вообще, особенно русской, оригинальный мыслитель в области учения о народном хозяйстве, государственный ум, которому, к сожалению, не суждено было стать государственным человеком, но который видел и понимал задачи и будущность России лучше представителей нашей официальной власти...

...Он умел быть философом в химии, в физике и других отраслях естествознания, которых ему приходилось касаться, и естествоиспытателем в проблемах философии, политической экономии и социологии».

Л. А. Чугаев, русский химик

Признанием заслуг русского химика перед мировой наукой является следующий факт: в 1955 г. группа американских химиков во главе с **Г. Сиборгом** (1912—1999) получила новый, 101-й элемент, которому «в честь величайшего русского химика Менделеева единодушно присвоила название «менделевий».

Периодический закон и Периодическая система Д. И. Менделеева позволили:

- установить взаимную связь между элементами и объединить их по свойствам;
- расположить элементы в естественной последовательности;
- обнаружить периодичность, т. е. повторяемость общих свойств элементов и их соединений и объяснить причину этого;
- исправить и уточнить значение относительных атомных масс некоторых элементов;

- исправить и уточнить степени окисления (валентность) некоторых элементов;
- предсказать существование ещё не открытых элементов, описать их свойства, указать пути их открытия.

ОТКРЫТИЕ ГАЛЛИЯ, СКАНДИЯ И ГЕРМАНИЯ, ПРЕДСКАЗАННЫХ Д. И. МЕНДЕЛЕЕВЫМ.

Торжеством периодического закона и Периодической системы стало открытие трёх предсказанных Менделеевым элементов — галлия, скандия и германия. Это позволило немецкому философу, одному из основоположников марксизма **Ф. Энгельсу** (1820—1895) назвать открытие Менделеевым периодического закона научным подвигом, подобным подвигу астронома **У. Лаверьё** (1811—1877), предсказавшего существование планеты Нептун. Почему так эмоционально характеризуется открытие русского химика? Это связано с открытием в 1875 г. первого из предсказанных Менделеевым элементов — галлия, которое принадлежит французскому химику **П. Буабодрану** (1838—1912). Менделеев, блестяще владевший французским языком, прочитал статью об открытии галлия и написал письмо Буабодрану, указав на его ошибку (тот неверно определил плотность галлия) и назвав причину этой ошибки (образец галлия был недостаточно очищен). И оказался прав. Буабодран с ним согласился и сообщил научному миру: «Я думаю, что нет нужды настаивать на исключительной важности теоретических взглядов г-на Менделеева относительно плотности нового элемента».

Шведский учёный **Л. Ф. Нильсон** (1840—1899), открывший в 1879 г. скандий, предсказанный Менделеевым как экабор, прислал ему в подарок немного нового металла, а немецкий учёный **К. А. Винклер** (1838—1904), открывший в 1886 г. предсказанный Д. И. Менделеевым германий, восторженно писал: «...периодичность элементов тем самым уже не гипотеза, она стала фактом, и химическое исследование сделало, таким образом, новый, неисчислимо важный шаг в царство познания».



В следующем параграфе речь пойдёт об уникальных химических элементах таблицы Менделеева — благородных, или инертных, газах и об ионных химических связях.

Теперь вы знаете

- ▶ в чём заключается периодический закон Д. И. Менделеева
- ▶ как связаны между собой периодический закон и учение о строении атома
- ▶ значение периодического закона и Периодической системы химических элементов
- ▶ что открытие галлия, скандия и германия, предсказанных Д. И. Менделеевым, явилось доказательством справедливости периодического закона

Теперь вы можете

- ▶ определить, как именно изменяются свойства элементов и образованных ими веществ в периодах таблицы Менделеева
- ▶ объяснить, как Периодическая система и периодический закон связаны с учением о строении атома
- ▶ привести три формулировки периодического закона
- ▶ дать оценку периодического закона и Периодической системы в истории науки

Выполните задания

1. Объясните, как на основе сведений о строении атома можно объяснить закономерности в изменении свойств элементов по периодам и группам.
2. Перечислите химические элементы из таблицы Д. И. Менделеева, названия которых связаны с Россией и русскими учёными.
3. Становление любой научной теории обусловлено как объективными, так и субъективными предпосылками. Перечислите субъективные предпосылки, которые предшествовали открытию периодического закона.
4. Прочитайте строчки из стихотворения С. Щипачёва «Читая Менделеева» и сформулируйте основную мысль данного произведения.

Есть просто газ легчайший — водород,
Есть просто кислород, а вместе это —
Июньский дождь от всех своих щедрот,
Сентябрьские туманы на рассветах.

Кипит железо, серебро, сурьма
И тёмно-бурые растворы брома,
И кажется Вселенная сама
Одной лабораторией огромной.

Тут мало оптикой поможешь глазу,
Тут мысль пытливая всего верней.
Пылинку и увидишь-то не сразу —
Глубины мироздания скрыты в ней.

Будь то вода, что поле оросила,
Будь то железо, медь или гранит —
Всё страшную космическую силу,
Закованную в атомы, хранит.

Мы не отступим, мы пробьём дорогу
Туда, где замкнут мироздания круг, —
И что приписывалось раньше богу,
Всё будет делом наших грешных рук!

1. История открытия периодического закона — одного из фундаментальных законов мироздания — Д. И. Менделеевым. 2. Д. И. Менделеев — русский учёный-энциклопедист. 3. История открытий галлия, скандия и германия — химических элементов, существование которых было предсказано Д. И. Менделеевым.

§ 3. Благородные газы. Ионная химическая связь

1. Сформулируйте, какой процесс в химии называется восстановлением, какой — окислением.
2. Перечислите металлы, которые называют благородными, объясните почему.
3. Приведите примеры русских и иноязычных географических названий, имеющих в этимологической основе термин «соль».

ИЗ ИСТОРИИ ОТКРЫТИЯ БЛАГОРОДНЫХ ГАЗОВ. В Периодической системе особняком стоят благородные газы. Эти газы настолько пассивны, бездеятельны по отношению к другим веществам и элементам, что их первоначально абсолютно обоснованно называли инертными газами. Это уникальные химические элементы, так как даже в форме простого вещества они существуют в виде отдельных атомов, не связанных друг с другом. История открытия инертных газов столь же необычна, как и их характерные особенности.

В 1894 г. знаменитые английские учёные *Д. Рэлей* (1842—1919) и *У. Рамзай* (1852—1916) обнаружили в азоте, полученном ими из воздуха, около 1% неизвестного газа. Этот газ оказался химически ещё более инертным, чем азот, и поэтому получил название «аргон» — в переводе с греческого «недеятельный». Через год У. Рамзай получил ещё один инертный газ — гелий. Своим названием (от греч. *гелиос* — солнце) этот газ обязан тому, что ещё раньше его обнаружили по спектральным линиям на Солнце.

В течение последующих трёх лет У. Рамзай совместно с *М. Траверсом* (1872—1961) из воздуха были выделены ещё три



Вылетали частицы гелия,
ядра стронция...
И чего оно не наделало,
это Солнце!
С. Кирсанов

инертных газа — криптон, неон и ксенон. Названия их происходят от греческих слов, означающих, соответственно «скрытый», «новый», «чужой». Решающая роль в открытии этих газов также принадлежит У. Рамзаю, который считал себя учеником великого русского химика Д. И. Менделеева. Работы У. Рамзая по получению и изучению этих инертных газов ещё более укрепили позиции периодического закона и Периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева. Наконец, в 1899 г. **Э. Резерфорд** и **Р. Оуэнс**, изучая явление радиоактивности, доказали существование последнего инертного газа — радона. Своё название он получил от элемента радия, продуктом радиоактивного распада которого является.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ. Инертные газы широко используются в науке и технике. Изучение свойств жидкого гелия позволило физикам открыть удивительные явления — сверхтекучесть и сверхпроводимость. После крушения дирижабля «Гинденбург» в 1937 г. гелий заменил водород в дирижаблях и воздушных шарах благодаря лёгкости и невоспламеняемости (рис. 5).

С помощью аргона проводят специальную электрическую сварку. Купа-

Поэзия —
та же добычка радия.
В грамм добычка,
в год труды.
Изводишь
единого слова ради
тысячи тонн
словесной руды.
В. Маяковский



Мне приснились азростаты.
Огромное стадо <...>
Складчатокоржие, в розовой
утренности,
их гигантские внутренности
пучатся,
резиново-белые,
им хочется гелия, гелия,
гелия!
Вероятно, они животные
нужные,
если люди на ужин им
дают такую редкую и лёгкую
пищу?
С. Кирсанов



Рис. 5. Дирижабль и воздушный шарик, заполненные гелием



Рис. 6. Неоновая реклама

ние в радоновых ваннах излечивает многие тяжёлые заболевания. Инертными газами заполняют светильники, рекламные вывески и табло (рис. 6).

ИОННАЯ ХИМИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ. Однако инертные газы далеко не инертны. Сегодня получено уже около 200 химических соединений ксенона, криптона и радона. Поэтому само понятие «инертные» утратило свой прежний смысл. Эти газы сейчас называют благородными, поскольку они, как и благородные металлы, например золото, очень неохотно

вступают в химические реакции.

Химики до сих пор спорят о том, как рассматривать частицы благородных газов в простом веществе — то ли как свободные атомы, то ли как одноатомные молекулы. Аналогично нет однозначного мнения и по поводу того, какой тип кристаллической решётки характерен для простых веществ этих элементов. По физическим свойствам это вещества с молекулярными кристаллическими решётками, но силы межмолекулярного взаимодействия, удерживающие частицы в кристаллах, действуют между атомами.

Почему же атомы благородных газов так самостоятельны? На основании анализа их положения в Периодической системе химических элементов вы и сами можете назвать причину этого. Всё дело в том, что атомы благородных газов имеют завершённый внешний электронный слой, на котором у атома гелия находится 2 электрона, а у остальных элементов — по 8.

Атомы всех других элементов стремятся приобрести именно такую устойчивую электронную конфигурацию и достигают этого либо в результате присоединения электронов от других атомов (как вы знаете, такой процесс в химии называется *восстановлением*), либо в результате отдачи своих внешних электронов другим атомам (процесс *окисления*). Атомы, присоединившие чужие электроны, превращаются в *отрицательные ионы* — **анионы**. Атомы, отдавшие свои электроны, превращаются в *положительные ионы* — **катионы**. Между катионами и анионами возникают силы электростатического притяжения, которые и будут удерживать их около друг друга, осуществляя тем самым **ионную химическую связь**.

Ионная химическая связь — это связь, образовавшаяся между катионами и анионами за счёт их электростатического притяжения.

Так как катионы образуют преимущественно атомы металлов, а анионы — только атомы неметаллов, то логично сделать вывод, что этот тип связи характерен для соединений, образованных типичными металлами (щелочными и щёлочноземельными) и типичными неметаллами (галогенами, кислородом). Классическим примером веществ с ионной связью являются галогениды и оксиды щелочных и щёлочноземельных металлов (рис. 7).

Схему образования ионной связи между атомами натрия и хлора можно представить так:



ИОННЫЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ РЕШЁТКИ. Два разноимённо заряженных иона, связанных силами взаимного притяжения, взаимодействуют и с другими противоположно заряженными ионами. В результате образуются кристаллические соединения, характеризующиеся правильным расположением тех частиц (в рассматриваемом примере — ионов), из которых они состоят, в строго определённых точках пространства. При соединении этих точек прямыми линиями образуется пространственный каркас, который называют **кристаллической решёткой**. Точки, в которых размещены частицы кристалла, называют **узлами решётки**.

Вещества с ионным типом связи имеют **ионные кристаллические решётки** (рис. 8). Такие соединения представляют собой твёрдые, прочные, нелетучие вещества с высокими температурами плавления. При обычных условиях кристаллы таких веществ электрического тока не проводят, а растворы и расплавы большинства ионных соединений представляют собой прекрасные электролиты.

Вещества с ионными кристаллическими решётками хрупки. Если попытаться деформировать такую кристаллическую решётку, один из слоёв её будет двигаться относительно другого до тех пор, пока одинаково заряженные ионы не окажутся друг против друга. Эти ионы сразу начнут отталкиваться, и решётка разрушится. Отсюда и хрупкость ионных соединений.

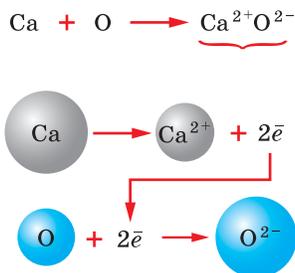


Рис. 7. Схема образования ионной связи между атомами кальция и кислорода

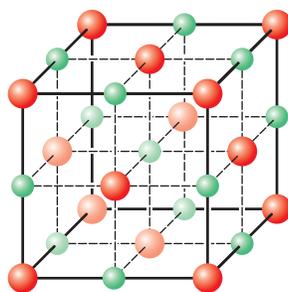


Рис. 8. Ионная кристаллическая решётка хлорида натрия (каждый ион хлора окружён шестью ионами натрия)

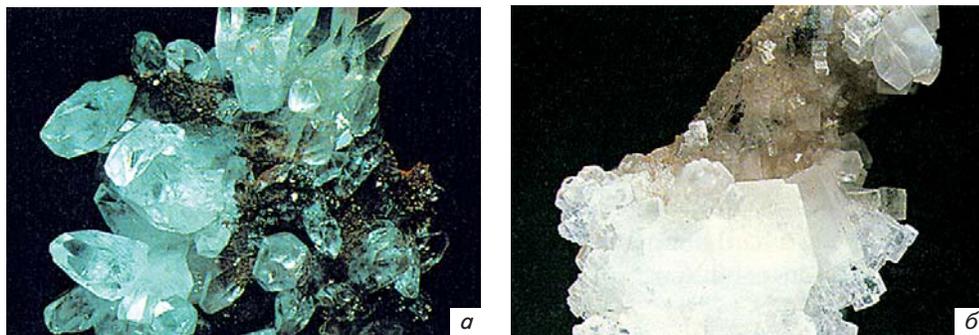


Рис. 9. Ионные соединения в природе: *а* — кристаллы каменной соли (NaCl); *б* — кристаллы кальцита (CaCO_3)

Ионные соединения — это не только бинарные соединения щелочных и щёлочноземельных металлов (рис. 9, *а*), но и соединения, образованные тремя и более элементами (рис. 9, *б*). Вы без труда сможете перечислить их — это все соли, а также гидроксиды щелочных и щёлочноземельных металлов.

КЛАССИФИКАЦИЯ ИОНОВ И ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ИОННОЙ СВЯЗИ.

И в заключение приведём классификацию ионов по разным признакам:

1) по составу различают *простые* (Na^+ , Cl^- , Ca^{2+}) и *сложные* (OH^- , SO_4^{2-} , NH_4^+) ионы;

2) по знаку заряда различают *положительные ионы*, или *катионы* (M^{n+} , NH_4^+ , H^+ или, точнее, H_3O^+), и *отрицательные ионы*, или *анионы* (OH^- , анионы кислотных остатков).

Соединений с ионным типом связи совсем немного, но даже в них чисто ионной связи не наблюдается. Так, например, не существует «чистых» ионов натрия и хлора с зарядами $+1$ и -1 соответственно. Истинный заряд этих ионов составляет $+0,8$ и $-0,8$. Следовательно, даже в соединениях, которые рассматриваются как ионные, в некоторой степени проявляется ковалентный характер связи.

И наконец, относительной истиной является утверждение, что ионная связь — это результат взаимодействия самых типичных металлов с самыми типичными неметаллами. Например, соли аммония, образованные за счёт ионной связи между катионами аммония и анионами кислотного остатка (например, NH_4Cl , NH_4NO_3), состоят исключительно из неметаллов.



В следующем параграфе речь пойдёт о химическом соединении с другим типом связи — ковалентным. Эта связь является преобладающей в мире химических веществ.

Теперь вы знаете

- ▶ историю открытия инертных газов
- ▶ области применения инертных газов
- ▶ как образуются ионные химические связи между атомами
- ▶ что такое ионные кристаллические решётки
- ▶ признаки классификации ионов

Теперь вы можете

- ▶ назвать имена учёных-химиков, открывших в конце XIX в. инертные газы — гелий, аргон, криптон, неон, ксенон, радон
- ▶ объяснить, что такое ионная химическая связь и каков механизм её образования
- ▶ привести примеры химических соединений, имеющих ионную кристаллическую решётку
- ▶ доказать, что ионная связь в химических соединениях достаточно относительна

Выполните задания

1. Объясните, почему благородные газы раньше относили к нулевой группе Периодической системы, а сейчас относят к VIII группе и в чём смысл их названия — благородные.
2. Дайте определения понятий: «катион», «анион». Назовите, на какие группы делятся ионы и по каким признакам.
3. Перечислите физические свойства, характерные для веществ с ионными кристаллическими решётками.
4. Среди веществ, формулы которых: KCl , $AlCl_3$, BaO , Fe_2O_3 , $Fe_2(SO_4)_3$, H_2SO_4 , SiO_2 , NH_3 , определите соединения с ионными кристаллическими решётками. Дайте названия всех соединений и укажите, к какому классу относится каждое из них.

Темы для рефератов

1. Научная деятельность и открытия нобелевского лауреата Уильяма Рамзая.
2. Роль ионных соединений в неживой природе и в жизни человека.
3. Жидкий гелий и связанные с ним открытия явлений сверхтекучести и сверхпроводимости.

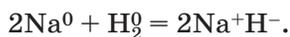
§ 4. Ковалентная химическая связь

1. Объясните, что такое кристаллическая решётка вещества.
2. Перечислите основные месторождения алмазов в нашей стране и в мире в целом.
3. Расскажите историю одного из семи знаменитых камней алмазного фонда Оружейной палаты — алмаза «Шах».

МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ КОВАЛЕНТНОЙ СВЯЗИ. Веществ с ионной связью, как стало ясно из предыдущего параграфа, не так много. Преобладающее количество веществ характеризуется *ковалентной связью*, так мир органических веществ, которых насчитывается более 27 млн соединений, построен преимущественно на ковалентной связи. Даже среди неорганических (минеральных) веществ эта связь встречается довольно часто, да и ионную связь можно считать крайним случаем ковалентной полярной химической связи.

Химическим синонимом понятия «ковалентная связь» является понятие «атомная связь».

Как образуется ковалентная связь? В случае ионной химической связи всё понятно: атомы одного элемента отдают свои электроны, атомы других — принимают их, при этом возникают положительные и отрицательные ионы, которые за счёт электростатических сил образуют ионное химическое соединение. Например, если атом водорода встретится с атомом металла (щелочного или щёлочноземельного), то атом металла передаст атому водорода электроны с внешнего энергетического уровня и возникнет ионная химическая связь, образуются *гидриды*:

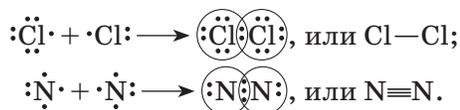


А как нейтральные атомы удерживаются в одном веществе? Рассмотрим механизм образования ковалентной связи на примере молекулы водорода H_2 . Если встречаются два одинаковых атома водорода, то в этом случае проблему завершения электронного слоя эти атомы будут решать на паритетных началах — просто-напросто объединят свои электроны, т. е. создадут общую электронную пару. При этом электронные облака-орбитали перекроются, и в пространстве между ядрами двух водородных атомов возникнет некоторая дополнительная электронная плотность — отрицательный заряд, стягивающий положительные ядра взаимодействующих атомов:



Сближение ядер будет происходить до тех пор, пока силы межъядерного отталкивания не будут уравновешены силами притяжения к общей электронной плотности.

Именно так возникает ковалентная связь у всех двухатомных молекул простых веществ (F_2 , Cl_2 , N_2 и др.):



А теперь дадим определение понятия «**ковалентная химическая связь**».

***Ковалентная химическая связь** — это связь, возникающая между атомами за счёт образования общих электронных пар.*

Аналогичный механизм возникновения ковалентной связи наблюдается и между атомами разных химических элементов, например:



ЭЛЕКТРООТРИЦАТЕЛЬНОСТЬ. Нетрудно заметить, что, так же как и в случае образования ковалентной связи между атомами одного элемента, химическая связь между атомами разных элементов возникает за счёт образования общих электронных пар. Но всё не так просто. Паритета между атомами в этом случае не будет, так как начинает проявляться так называемая **электроотрицательность**.

***Электроотрицательностью** называется способность атомов химических элементов оттягивать к себе общие электронные пары.*

Важнейшие неметаллы можно расположить таким образом — по мере увеличения их электроотрицательности:

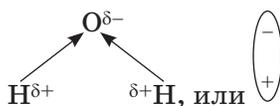


Поскольку разные элементы обладают различной электроотрицательностью, то общая электронная пара оказывается смещённой в сторону элемента, обладающего большей электроотрицательностью. В результате на атоме такого элемента образуется частичный отрицательный заряд (его обозначают δ^-). Соответственно, на атоме элемента с меньшей электроотрицательностью возникнет такой же частичный, но уже положительный заряд (его обозначают δ^+). Следовательно, по линии ковалентной связи возникнет два полюса — отрицательный

и положительный. Поэтому такую ковалентную связь называют **полярной**. Понятно, что ковалентная связь между атомами одного химического элемента будет **неполярной**, так как в этом случае зарядовых полюсов по линии связи не возникает. В рассмотренных примерах для молекул хлороводорода связь $\text{H}-\text{Cl}$ является **ковалентной полярной**.



Так как ковалентная химическая связь в линейной молекуле хлороводорода полярна, полярной будет и сама молекула. В ней также присутствуют два противоположно заряженных полюса, поэтому такие молекулы называют **диполями**. Молекулы воды, имеющие угловое строение, также представляют собой диполи.



Рассмотренный выше механизм образования ковалентной связи называется **обменным**, поскольку каждый из атомов предоставил в общую электронную пару по одному электрону.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ РЕШЁТКА. Для веществ с ковалентной связью характерны два типа решёток — молекулярные и атомные.

С молекулярными решётками вы уже начали знакомиться. В узлах таких решёток находятся молекулы, образованные за счёт прочных ковалентных связей. А вот между молекулами действуют слабые силы межмолекулярного притяжения (в физике их называют ван-дер-ваальсовыми — по имени голландского учёного, лауреата Нобелевской премии **Я. Д. Ван-дер-Ваальса** (1837—1923)), поэтому вещества с молекулярными кристаллическими решётками непрочные, легкоплавкие, летучие.

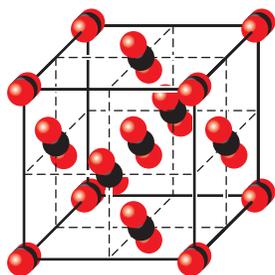


Рис. 10. Молекулярная кристаллическая решётка углекислого газа

Такие кристаллические решётки имеют газы и жидкости в твёрдом состоянии (рис. 10), кристаллический иод, сера, белый фосфор, большинство органических веществ.

АТОМНАЯ КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ РЕШЁТКА. Ковалентные связи могут приводить к образованию веществ не молекулярного, а атомного строения, т. е. веществ с атомной кристалли-

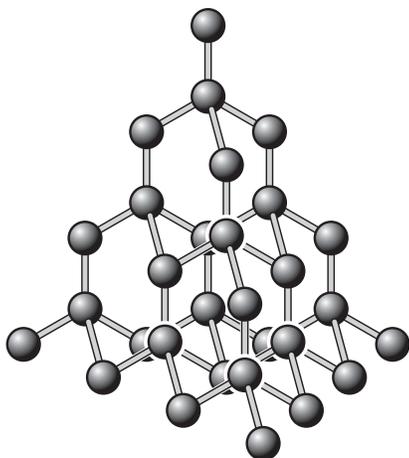


Рис. 11. Атомная кристаллическая решётка алмаза



Рис. 12. Большая императорская корона российских монархов с 4936 бриллиантами весом в 2858 каратов

ческой решёткой. Это такие решётки, в узлах которых располагаются отдельные атомы, соединённые между собой очень прочными ковалентными связями. Примером веществ с таким типом кристаллической решётки может служить аллотропная модификация углерода — алмаз (рис. 11).

Аллотропия — это существование одного и того же химического элемента в виде двух или нескольких простых веществ; может быть обусловлена образованием молекул с различным числом атомов либо образованием кристаллов различных модификаций.

Необычайная твёрдость алмаза по особой шкале твёрдости веществ (как вы помните, она называется шкалой Мооса) оценена самым высоким значением — 10. Благодаря высокой твёрдости алмаз используется для изготовления буров, свёрл, шлифовальных инструментов, стеклорезов, хотя в сознании большинства это камень ювелиров, которые используют отшлифованные алмазы, называемые бриллиантами (рис. 12). В России особую пышность и блеск приобрели бриллиантовые украшения при Екатерине II. Достаточно вспомнить портрет члена государственного совета «бриллиантового князя» А. Б. Куракина работы В. Боровиковского (рис. 13).

...Под ним Казбек, как грань алмаза,
Снегами вечными сиял...

М. Лермонтов





Рис. 13. В. Л. Боровиковский.
Портрет вице-канцлера
князя А. Б. Куракина. 1801—1802

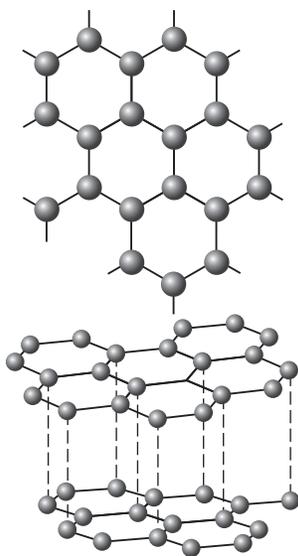


Рис. 14. Атомная кристаллическая
решётка графита

Массу драгоценных камней выражают в особых единицах — каратах. Откуда взялась эта странная единица? В пустынных районах Аравийского полуострова растёт удивительное дерево под названием царьградский рожок — по-латыни *caratina silikva*. Косточки плодов этих деревьев всегда имеют одну и ту же массу — 0,2 г. Именно с помощью этих косточек ювелиры и взвешивали драгоценные камни, а единицу их массы называли каратом — по латинскому наименованию дерева.

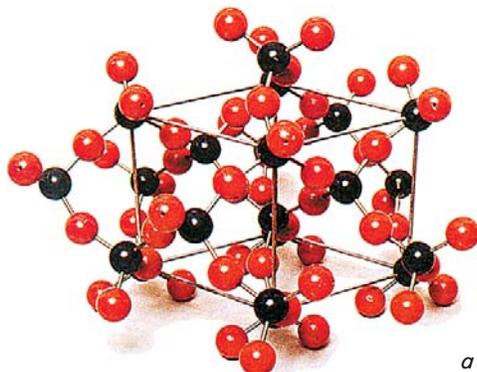
В атомной кристаллической решётке другой аллотропной модификации углерода — графита (рис. 14) — атомы, лежащие в одной плоскости, прочно связаны в правильные шестиугольники. Связи между слоями непрочны, поэтому графит мягок. Но, так же как алмаз, он тугоплавок. Из графита изготавливают электроды, твёрдые смазки, стержни для карандашей, замедлители нейтронов в ядерных реакторах.

Атомные кристаллические решётки имеют не только простые, но и сложные вещества. Например, все разновидности оксида алюминия: наждак, корунд, рубин (рис. 15), сапфир.

Наиболее распространённое в неживой природе соединение с атомной кристаллической решёткой — это оксид кремния (IV). Почти чистым диоксидом кремния является широко распространённый минерал кварц (рис. 16), встречающийся как в магматиче-



Рис. 15. Рубиновая звезда на Боровицкой башне Московского Кремля (а всего их пять — на Боровицкой, Троицкой, Спасской, Никольской и Водовзводной башнях)



а



б

Рис. 16. Кварц: *а* — атомная кристаллическая решётка; *б* — кристаллы природного кварца — горного хрусталя

ских, так и метаморфических породах (особенно в гранитах и гнейсах). Чистый кварц прозрачен и бесцветен.

Нередко встречаются окрашенные за счёт наличия примесей кристаллы розового, жёлтого, молочного, дымчатого цвета. По внешнему виду кристаллы кварца легко отличить от других минералов — шестигранная призма заканчивается трёхгранной пирамидой (рис. 16, б). Области применения кварца очень разнообразны. Чистый кварц используют при создании микросхем в радиоэлектронике, в косметологии, для создания строительных материалов (кварцевый песок — одна из составляющих бетона), разные виды минерала нашли поклонников среди ювелиров.



В следующем параграфе мы поговорим о металлической химической связи и её особенностях, о кристаллическом строении металлов и сплавов.

☉ Теперь вы знаете

- ▶ каков механизм образования ковалентной связи
- ▶ что такое электроотрицательность
- ▶ какие вещества образуют молекулярную кристаллическую решётку
- ▶ какие вещества образуют атомную кристаллическую решётку

☉ Теперь вы можете

- ▶ объяснить, как образуется ковалентная химическая связь
- ▶ дать формулировку электроотрицательности, записать ряд важнейших неметаллов в порядке увеличения их электроотрицательности
- ▶ назвать два типа кристаллических решёток, характерных для веществ с ковалентной связью, привести примеры таких веществ

☉ Выполните задания

1. Запишите схему образования ковалентной связи для молекулы воды.
2. Сформулируйте, какая ковалентная связь называется полярной, какая — неполярной, чем они отличаются.
3. Объясните, можно ли говорить об ионной связи как о разновидности ковалентной. Аргументируйте свой ответ.
4. Дайте характеристику таких модификаций углерода, как алмаз и графит, с точки зрения их строения и свойств.
5. Сравните ионную кристаллическую решётку с молекулярной и атомной.

☉ Темы для рефератов

1. Сравнительная характеристика веществ с молекулярной и атомной кристаллическими решётками на примере твёрдого углекислого газа и графита. 2. Алмаз как минерал, одна из кристаллических модификаций углерода. 3. История знаменитого алмаза «Шах» (или «Эксельсиор», или «Куллинан»). 4. Драгоценные камни (алмазы, рубины, сапфиры) в искусстве, литературе, музыке, кинофильмах.

§ 5. Металлическая химическая связь

1. Назовите три исторические эпохи в развитии цивилизации, для которых было характерно производство орудий труда и оружия из соответствующих материалов.
2. Перечислите основные рудные (или металлические) месторождения в России.
3. Объясните, какие металлы называют благородными и почему, какую роль они играли в истории человечества с древнейших времён и до наших дней.
4. Приведите примеры литературных и музыкальных произведений, связанных сюжетно или по названию с металлами и сплавами.

МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ХИМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ.

Для атомов металлов характерны некоторые отличительные особенности строения. Первая: они, как правило, имеют 1—3 электрона на внешнем энергетическом уровне. Однако у атомов олова и свинца валентных электронов 4, у сурьмы и висмута — 5, а у полония — 6. Почему же эти элементы являются металлами? Ответ получим, зная о второй особенности строения атомов металлов — у них сравнительно большой радиус. Поэтому валентные электроны притягиваются к положительному ядру слабее и легко отрываются от атома.

Атом, от которого «ушли» электроны, превращается в ион. В результате этого в металлическом изделии или кусочке металла формируется совокупность свободных электронов, которые непрерывно перемещаются между ионами. При этом, притягиваясь к положительным ионам металла, электроны вновь превращают их в атомы, затем снова отрываются, превращая в ионы, и так бесконечно. Следовательно, в металлах происходит непрерывный процесс превращения «атом \rightleftharpoons ион», его осуществляют валентные электроны, а частицы, из которых состоят металлы, так и называют — **атом-ионы**.



То же самое наблюдается и в металлических сплавах.

Металлической связью называется связь в металлах и сплавах между атом-ионами металлов, осуществляемая совокупностью валентных электронов.

Эта связь определяет особое кристаллическое строение металлов и сплавов — **металлическую кристаллическую решётку**, в узлах которой расположены атом-ионы.



Рис. 17. Золочёная резьба по дереву — основной элемент декора аудиенц-зала Большого Петергофского дворца. 1714—1755

НАИБОЛЕЕ ХАРАКТЕРНЫЕ СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ. Такие свойства металлов, как пластичность, ковкость, электро- и теплопроводность, металлический блеск, способность к образованию сплавов, обусловлены именно металлической кристаллической решёткой и металлической связью.

Пластичность — важнейшее свойство металлов, выражающееся в их способности деформироваться под воздействием механической нагрузки. Это свойство лежит в основе обработки металла давлением (ковка, прокатка и др.), протягивании его в проволоку и т. п.

Пластичность металла объясняется тем, что под внешним воздействием одни слои атом-ионов в кристаллах легко смещаются, как бы скользят относительно друг друга без разрыва связи между ними.



Рис. 18. Так называемая золотая маска Агамемнона (XIV в. до н. э.), найденная Г. Шлиманом при раскопках в Микенах

Наиболее пластичны золото, серебро и медь. Недаром для своего знаменитого опыта, позволившего создать планетарную модель атома, Э. Резерфорд использовал именно золото, из которого была изготовлена фольга толщиной всего 0,003 мм. Такие же тонкие листочки фольги используются для золочения художественных изделий, например деревянной резьбы. Потрясает воображение сиянием золота декор залов Пе-

тергофского дворца (рис. 17) под Санкт-Петербургом и резной золочёный деревянный алтарь Успенского собора во Владимире. Замечательные изделия из золота дошли до нас через тысячелетия (рис. 18).

Высокая **электропроводность** металлов объясняется наличием в них подвижных электронов, которые под действием электрического поля начинают двигаться направленно. Лучшими проводниками электрического тока являются золото, серебро и медь, немного уступает им алюминий. Однако в большинстве стран провода и кабели делают в основном не из меди, а из более дешёвого алюминия. Хуже всего электрический ток проводят марганец, свинец, ртуть, вольфрам и некоторые другие тугоплавкие металлы.

Теплопроводность металлов также объясняется высокой подвижностью электронов, которые, сталкиваясь с колеблющимися в узлах решётки ионами металлов, обмениваются с ними тепловой энергией. С повышением температуры эти колебания ионов с помощью электронов передаются другим ионам, и температура металла быстро выравнивается. О практическом значении этого свойства вы можете судить по равномерному нагреванию кухонной металлической посуды.

Гладкая поверхность металла или металлического изделия характеризуется **металлическим блеском**, который является результатом отражения световых лучей. Высокой световой отражательной способностью обладают ртуть (её раньше использовали для изготовления знаменитых венецианских зеркал), серебро, палладий и алюминий. Последние три металла в настоящее время используются при производстве зеркал, прожекторов и фар.

В порошкообразном виде металлы теряют блеск, приобретая чёрную или серую окраску, и только магний и алюминий сохраняют его. Поэтому из алюминиевой пыли делают краску серебрянку для декоративных покрытий.

Большинство металлов имеет серебристо-белый цвет, золото и медь — соответственно жёлтый (червонный) или красно-жёлтый (медный) цвет (рис. 19).



Рис. 19. Самородки:
а — золота; б — меди;
в — серебра

Металлы также классифицируются в зависимости от своей плотности, температуры плавления и твёрдости. Все металлы при обычных условиях — твёрдые вещества. Исключение составляет жидкая ртуть. Наиболее твёрдые — металлы побочной подгруппы VI группы (так, хром по твёрдости приближается к алмазу). Самые мягкие — щелочные металлы, натрий и калий, например, легко режутся ножом.

По плотности металлы делят на *лёгкие* (плотность меньше 5 г/см^3) и *тяжёлые* (плотность больше 5 г/см^3). К лёгким относят щелочные, щёлочноземельные металлы и алюминий, из металлов побочных подгрупп — скандий, иттрий и титан. Эти металлы благодаря легкоплавкости и тугоплавкости всё шире применяют в различных областях техники.

Самый лёгкий металл — литий, плотность которого $0,53 \text{ г/см}^3$, самый тяжёлый — осмий с плотностью $22,6 \text{ г/см}^3$.

Лёгкие металлы обычно *легкоплавки* (галлий может плавиться уже на ладони руки), а тяжёлые металлы — *тугоплавки*. Наибольшая температура плавления — у вольфрама ($+3422 \text{ }^\circ\text{C}$). Это его свойство (так же как и огромное электрическое сопротивление) используют для изготовления ламп накаливания. Однако сейчас в Российской Федерации, как и ранее в Евросоюзе и США, на государственном уровне принято решение о замене привычных ламп накаливания на более экономичные и долговечные современные лампы — галогенные, люминесцентные и светодиодные. Галогенная лампа — это та же лампа накаливания с вольфрамовой нитью, но заполненная инертными газами с добавкой паров галогенов (брома и иода). Люминесцентные лампы — это хорошо знакомые вам лампы дневного света, имеющие один существенный недостаток: они содержат ртуть, а потому нуждаются в соблюдении особых правил утилизации на специальных пунктах приёма. Светодиодные лампы самые экономичные и самые долговечные (срок их работы — до 100 тыс. ч).

МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ СПЛАВЫ И ОБЛАСТИ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ. Металлическая химическая связь и металлическая кристаллическая решётка характерны не только для чистых металлов, но и для их сплавов. Это отличает металлические сплавы от неметаллических, как искусственных (стекла, керамики, фарфора, фаянса), так и природных (гнейсов, базальтов, гранитов и т. д.).

Ещё в глубокой древности люди заметили, что сплавы обладают другими, нередко более полезными свойствами, чем входящие в их состав чистые металлы. Поэтому металлы в чистом виде используются редко. Например, у первого полученного человеком сплава — *бронзы* — прочность выше, чем у её составляющих — меди и олова. *Сталь* и *чугун* прочнее чистого железа. Чистый алюминий — очень мягкий



Рис. 20. Один из самых больших пассажирских самолётов «Конкорд» — 20 тонн дюралюминия



Рис. 21. Э. Фальконе. Медный всадник — памятник Петру I в Санкт-Петербурге. 1768—1770



Рис. 22. Чугунная решётка Летнего сада в Санкт-Петербурге, выполненная по проекту архитекторов Ю. Фельтена, И. Фока и П. Егорова. 1771—1784

металл, сравнительно непрочный на разрыв. Но сплав, состоящий из алюминия, магния, марганца, меди, никеля, называемый *дюралюминием*, в 4 раза прочнее алюминия и используется в самолётостроении (рис. 20), а потому образно называется «крылатым» металлом.

Кроме большей прочности сплавы обладают и лучшими литейными свойствами, чем чистые металлы. Так, чистая медь очень плохо поддаётся литью, а оловянная бронза имеет прекрасные литейные качества — из неё отливают художественные изделия, памятники, которые требуют тонкой проработки деталей (рис. 21). Чугун — сплав железа с углеродом — также великолепный литейный материал (рис. 22).

Кроме высоких механических качеств, сплавам присущи свойства, которых нет у чистых металлов. Например, нержавеющая сталь — сплав на основе железа — обладает высокой коррозионной стойкостью даже в агрессивных средах и высокой жаропрочностью.

Начавшаяся примерно 100 лет назад научно-техническая революция, затронувшая и промышленность, и социальную сферу, также тесно связана с производством металлов и сплавов (рис. 23). На основе вольфрама,



Рис. 23. Эйфелева башня в Париже, названная в честь своего конструктора Густава Эйфеля. 1887—1889



Рис. 24. Космическая техника, при создании которой используются современные сплавы

молибдена, титана и других металлов начали создавать устойчивые к коррозии, сверхтвёрдые и тугоплавкие сплавы, применение которых значительно расширило возможности машиностроения. В ядерной и космической технике из сплава вольфрама и рения делают детали, выдерживающие температуру до $+3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ (рис. 24). В медицине используют хирургические инструменты и имплантаты из сплавов тантала и платины.



В следующем параграфе познакомимся с молекулярно-кинетической теорией, рассмотрим различные агрегатные состояния вещества и взаимные переходы из одного состояния в другое.

☉ Теперь вы знаете

- ▶ механизм образования металлической химической связи
- ▶ наиболее характерные свойства металлов
- ▶ металлические сплавы и области их применения

☉ Теперь вы можете

- ▶ объяснить, что такое металлическая химическая связь и как она возникает
- ▶ назвать самые пластичные металлы, металлы с самой плохой электропроводностью, самый лёгкий и самый тяжёлый металл, металл с самой высокой температурой плавления
- ▶ дать сравнительную характеристику физических свойств металлов и сплавов
- ▶ перечислить те отрасли современной промышленности, где находят широкое применение металлические сплавы

☉ Выполните задания

1. Назовите некоторые отличительные особенности, характерные для строения атомов металлов.

2. Дайте определение металлической связи, объясните, что из себя представляют атом-ионы и какую роль они играют в механизме образования химической связи.
3. Объясните, как особенности строения металлов — простых веществ сказываются на их физических свойствах, перечислите основные свойства металлов.
4. Охарактеризуйте тяжёлые и лёгкие металлы, легкоплавкие и тугоплавкие, назовите основные области их применения.
5. Приведите примеры наиболее выдающихся произведений искусства из металлов и сплавов.

☉ Темы для рефератов

1. Типы металлических кристаллических решёток. 2. История возникновения и развития зеркального производства. 3. «Крылатый» металл и история мировой авиации. 4. История металлических денег в России. 5. Драгоценные металлы и сплавы в истории мирового искусства. 6. Роль современных сплавов в науке, технике, медицине, быту.

§ 6. Молекулярно-кинетическая теория. Агрегатные состояния вещества

1. Приведите примеры веществ, которые могут существовать в жидком, твёрдом и газообразном состояниях; преимущественно только в жидком; только в твёрдом; только в газообразном состоянии.
2. Назовите приборы и аппараты, работающие на основе искусственно созданной плазмы, и явления природы, в основе которых — земная природная плазма.

ТРИ ПОЛОЖЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ. Как вы уже знаете, представления о том, что все тела в природе состоят из мельчайших неделимых частиц — атомов, появилось в Древней Греции более двух тысяч лет назад. Древнегреческий философ *Демокрит* (460—371 до н. э) писал: «...атомы бесчисленны по величине и по множеству, носятся же они во вселенной, кружась в вихре, и таким образом рождается всё сложное: огонь, вода, воздух, земля».

Первые атомистические воззрения можно считать началом становления фундаментальной естественно-научной теории, получившей впоследствии название молекулярно-кинетической.

Сформулируем **первое положение молекулярно-кинетической теории**.

Все вещества состоят из мельчайших частиц — атомов, молекул, ионов.

Для чего же нужна молекулярно-кинетическая теория? Какую научную ценность она представляет? Оказывается, макроскопические свойства веществ, например температура, давление и объём, для газообразных веществ определяются свойствами микроскопических частиц, их составляющих.

Казалось бы, всем хорошо известен термин «температура». А что такое температура? Попробуйте сформулировать определение этого понятия. Оказывается, это не так просто. Попытка связать его с «мерой нагретости тела» — это, как говорится, масло масляное. В соответствии с представлениями молекулярно-кинетической теории **температура** — это физическая величина, характеризующая среднюю скорость хаотического движения частиц, составляющих данное тело. Например, чем быстрее движутся молекулы газообразного вещества, тем выше его температура.

Именно о движении частиц речь идёт во **втором положении молекулярно-кинетической теории**.

Частицы вещества находятся в непрерывном хаотическом тепловом движении.

Дальнейшее развитие молекулярно-кинетическая теория получила после открытия в XVII—XVIII вв. газовых законов — Бойля—Мариотта, Шарля и Гей-Люссака. Эти законы связывают попарно в математические уравнения основные параметры состояния газов: температуру, давление и объём.

Напомним, что **давление** — это физическая величина, равная силе, действующей на единицу площади поверхности. Как же этот макроскопический параметр связан с микроскопическим строением газа? В любой момент времени молекулы ударяются о стенки сосуда и при каждом ударе передают им определённый импульс силы, который сам по себе крайне мал, однако суммарное воздействие огромного числа молекул приводит к значительному силовому воздействию на стенки, которое и воспринимается нами как давление. Например, накачивая автомобильное колесо, вы перегоняете молекулы атмосферного воздуха внутрь замкнутого объёма шины дополнительно к числу молекул, уже находящихся внутри неё. В результате концентрация молекул внутри шины оказывается выше, чем снаружи, они чаще ударяются о стенки, давление внутри шины оказывается выше атмосферного, и шина становится упругой.

Для того чтобы математически связать давление газа с движением и соударениями его молекул, необходимо принять **третье положение молекулярно-кинетической теории**.

Частицы газа взаимодействуют друг с другом путём абсолютно упругих механических столкновений.

Абсолютно упругими называются столкновения, при которых кинетическая энергия одной из сталкивающихся частиц полностью переходит в кинетическую энергию другой, а между ними отсутствуют любые иные виды взаимодействия, в том числе и химического.

ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ. На самом деле столкновения реальных молекул газов не такие уж и абсолютно упругие. Например, часть кинетической энергии одной частицы может переходить в потенциальную энергию другой, а направление движения после соударения отличаться от прямолинейного. Поэтому положения молекулярно-кинетической теории, равно как и основные газовые законы, справедливы только для некой гипотетической модели газообразного вещества, названной **идеальным газом**. Вы уже знаете о том, что метод моделирования широко используется в естествознании. Например, в механике в качестве элементарного объекта рассматривается материальная точка. В молекулярно-кинетической теории физические закономерности и математические уравнения, связывающие воедино параметры отдельных частиц и газообразного вещества в целом, справедливы для особой виртуальной модели — идеального газа.

Идеальным называется газ, молекулы которого имеют бесконечно малые размеры (т. е. представляют собой материальные точки), а единственным видом их взаимодействия являются абсолютно упругие столкновения со стенками сосуда.

Зачем же создавать теорию для несуществующего в природе газа? Дело в том, что реальные газы, особенно при умеренных температурах и низком давлении, достаточно хорошо подчиняются закономерностям, полученным для газа идеального. Ну а в случае значительных отклонений вводят поправочные коэффициенты, позволяющие с достаточной точностью рассчитать значение нужного параметра и для реального газа.

В качестве примера соотношения, связывающего воедино основные параметры газообразного вещества, можно привести уравнение состояния идеального газа:

$$pV = \nu RT,$$

где p — давление; V — молярный объём; ν — количество вещества; R — универсальная газовая постоянная; T — абсолютная температура (К).

Как видите, зная три из пяти величин, входящих в уравнение состояния (универсальная газовая постоянная R является константой), можно рассчитать неизвестную искомую величину.

РАЗВИТИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-КИНЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ В XIX В. Во второй половине XIX в., казалось бы, простая внешне картина атомно-молекулярной структуры вещества развилась в мощную универсальную теорию. Пик её развития связан с именами замечательных учёных *Дж. Мэкссвелла* (1831—1879) и *Л. Больцмана* (1844—1906), которые заложили основы статистического (вероятностного) описания свойств веществ (главным образом газов), состоящих из огромного количества хаотически движущихся молекул. Были выведены десятки закономерностей, которые позволили связать измеримые макроскопические показатели состояния газа (температуру, давление, объём) с микроскопическими характеристиками (числом, массой, скоростью движения молекул).

В современной физике на смену молекулярно-кинетической теории пришли более общие теоретические воззрения, получившие название **кинетической теории** (или **статистической механики**). Эти теории описывают состояние не только веществ молекулярного строения, но и ионных соединений, рассматривают, помимо теплового, другие виды движения частиц, принимают во внимание не только их упругие столкновения. Тем не менее молекулярно-кинетическая теория остаётся выдающимся достижением естествознания. На этой схеме мы даём краткую хронологию её развития.



АГРЕГАТНЫЕ СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА. Основными доказательствами положений молекулярно-кинетической теории считаются уже знакомые вам явления — диффузия, броуновское движение и изменение агрегатных состояний вещества. Именно агрегатные состояния вещества и взаимные переходы из одного состояния в другое мы и рассмотрим далее более подробно.

Вы знаете, что вещества могут существовать в различных агрегатных (от лат. *aggrego* — присоединяю, связываю) состояниях: твёрдом, жидком и газообразном. То или иное агрегатное состояние вещества характеризуется в первую очередь его способностью сохранять форму и объём и зависит от физических условий, в которых оно находится. Существование у вещества нескольких агрегатных состояний обусловлено различиями в тепловом движении его молекул (атомов) и в их взаимодействии при разных условиях.

Агрегатные состояния вещества связаны между собой взаимными переходами (рис. 25).

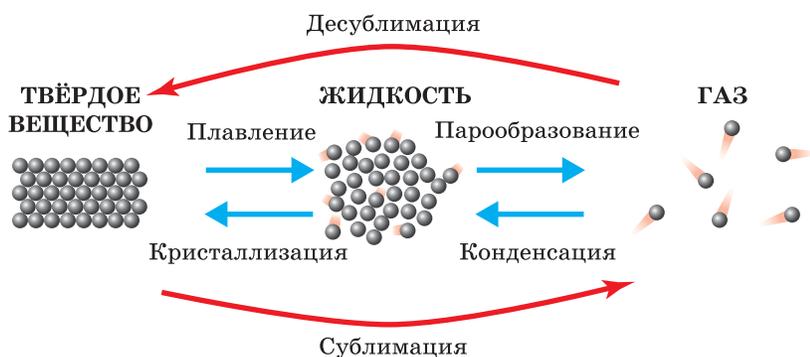


Рис. 25. Схема взаимных переходов агрегатных состояний вещества

ГАЗООБРАЗНОЕ СОСТОЯНИЕ. Рассмотрим сначала газообразное состояние вещества.

Газ — это агрегатное состояние вещества, характеризующееся хорошей сжимаемостью, отсутствием способности сохранять как объём, так и форму.

Газ (от фр. *gaz*, от греч. *chaos* — хаос) стремится занять весь объём, ему предоставленный. Молекулы газообразного вещества перемещаются по всему сосуду, в котором он находится. Благодаря большому расстоянию между молекулами любые газы смешиваются друг с другом в любых отношениях.

Лабораторный опыт

Проверьте прибор для получения газов на герметичность. С этой целью конец газоотводной трубки опустите в стакан с водой, а реактор (пробирку или колбу, закрытую пробкой с газоотводной трубкой) нагрейте ладонями. Что вы наблюдаете? Почему?

По химическому составу газы и их смеси весьма разнообразны. Это и благородные газы, молекулы которых одноатомны, и простые вещества — азот (N_2), кислород (O_2), озон (O_3), водород (H_2), фтор (F_2), хлор (Cl_2) и сложные вещества — углекислый (CO_2) и угарный (CO) газы, аммиак (NH_3), сероводород (H_2S), сернистый газ (SO_2), оксиды азота (NO и NO_2), метан (CH_4) и т. д. Важнейшими природными смесями газов являются воздух, природный и попутный нефтяной газы.

Газы легко сжимаемы. При этом расстояние между частицами уменьшается, давление газа на стенки сосуда увеличивается, а форма молекул не изменяется.

В 1811 г. выдающийся итальянский физик и химик **А. Авогадро** (1776—1856) открыл закон, названный его именем. Как вы помните, он сформулирован так:

в равных объёмах различных газов при одинаковых условиях (температуре и давлении) содержится одинаковое число молекул.

Конечно, верно и обратное: если взять равное число частиц различных газов, то они при одних и тех же условиях будут занимать одинаковый объём. Вы знаете, что 1 моль любого вещества молекулярного строения содержит $6,02 \cdot 10^{23}$ молекул. Предположим, что было взято по 1 моль нескольких газообразных веществ при температуре $0^\circ C$ и давлении 1 атм, или 10^5 Па (такие условия называются нормальными). Очевидно, газы эти будут занимать равные объёмы, а именно 22,4 л. Это важнейшее следствие из закона Авогадро. Объём 1 моль газа называется **молярным объёмом газа**, обозначается V_m и имеет значение 22,4 л/моль.

Часто вместо термина «газ» для многих веществ, которые при обычных условиях находятся в жидком или твёрдом агрегатном состоянии, используют слово «пар», чтобы характеризовать газообразное состояние. Например, пары воды прозрачны и бесцветны, их невозможно увидеть. А вот в бытовом понимании водяным паром называют мельчайшие капельки сконденсированной влаги, например туман, пар над поверхностью водоёма в холодное утро, пар из носика кипящего чайника. Процесс перехода вещества из газообразного в жидкое агрегатное состояние называется **конденсацией** (см. рис. 25).

ЖИДКОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА. Следующее агрегатное состояние, которое мы рассмотрим, это **жидкость**.

***Жидкость** — это агрегатное состояние вещества, которое характеризуется малой сжимаемостью, т. е. способностью сохранять объём, но не сохранять форму, а принимать конфигурацию сосуда, в который жидкость помещена.*

Эта способность обусловлена тем, что в жидкостях молекулы вещества расположены близко друг к другу благодаря силам взаимного притяжения.

Если вы попытаетесь сжать жидкость, то у вас ничего не получится. При попытке уменьшить расстояние между молекулами возникают силы их взаимного отталкивания, которые превосходят силы их взаимного притяжения, поэтому жидкие вещества практически несжимаемы. Тем не менее увеличение давления жидкости при её сжатии можно пронаблюдать на опыте.

Лабораторный опыт

Опустите глазную пипетку в стакан с водой и наберите в неё воды. Если пипетка не тонет, добавьте ещё воды, если тонет — удалите немного воды. Добейтесь, чтобы пипетка не плавала на поверхности, не тонула, а стояла в толще воды.

Налейте в полуторалитровую пластиковую бутылку воды до самого верха. Опустите пипетку в бутылку и плотно завинтите крышку (в бутылке не должно быть пузырьков воздуха).

Сожмите бутылку. Что вы наблюдаете? Что происходит, если прекратить сжатие? Почему?

Поступательное движение молекул, хотя и затруднено по сравнению с газами, но всё-таки сохраняется. Это обуславливает такое важнейшее свойство жидкостей, как *текучесть*. Поверхностное натяжение заставляет жидкие вещества принимать форму шара, но это возможно только в невесомости, при свободном падении капли или при очень малом объёме капли (рис. 26).

ТВЁРДОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА. Любое жидкое вещество при охлаждении переходит в **твёрдое агрегатное состояние**. Такой процесс называется **кристаллизацией** (см. рис. 25).



Рис. 26. Капля жидкости, в свободном полёте принимающая шарообразную форму



Рис. 27. Изумительная красота и бесконечное разнообразие форм снежинок

Для воды этот процесс происходит при температуре $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Часто о воде говорят как о живом существе: вода замерзает.

Вам хорошо знаком причудливый и неповторимый узор снежинок (рис. 27), острые, похожие на стекло кромки ледяных осколков. Это вода в твёрдом агрегатном состоянии.

***Твёрдое состояние** — это агрегатное состояние вещества, характеризующееся его способностью сохранять объём и форму.*

Частицы твёрдого вещества находятся настолько близко друг к другу, что очень ограничены в движении. Они совершают главным образом колебания относительно положения равновесия, а вот поступательное движение для них почти невозможно. Силы взаимного притяжения частиц в твёрдых веществах настолько велики, что это позволяет твёрдым веществам сохранять не только объём, но и форму.

Лабораторный опыт

В два пластиковых стакана налейте по 150 мл воды. Один стакан поставьте в морозильную камеру на сутки. Затем оба стакана поставьте в СВЧ-печь и включите её на полную мощность на 2 мин. Что произошло? Вода в стакане практически закипела, а лёд даже не растаял. Почему?

Как вы думаете, может ли бельё высохнуть на морозе, допустим, при $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$? Хозяйки вам ответят утвердительно: да, может. Как же так? Ведь при минусовой температуре вода — это лёд. Вроде бы, для того чтобы она испарилась, её нужно как минимум расплавить. Оказывается, это совсем не обязательно. Все низкомолекулярные вещества могут переходить из твёрдого состояния сразу в газообразное. Такой переход называется **возгонкой** или **сублимацией** (см. рис. 25). Причём получить некоторые соединения даже в жидком состоянии не-

просто. К ним относится сухой лёд — твёрдый углекислый газ, который при атмосферном давлении переходит из твёрдого состояния в газообразное, минуя жидкое. Температура, при которой существует сухой лёд, $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$. И он действительно сухой — не плавится, а возгоняется (рис. 28), что очень удобно для хранения пищевых продуктов, и в первую очередь мороженого. Легко возгоняются также кристаллический иод, нафталин.



Рис. 28. Сухой лёд

Твёрдое агрегатное состояние присуще всем без исключения веществам, а вот расплавить или превратить в газ удаётся не все вещества. И вовсе не потому, что нет возможности создать достаточно высокую температуру. Наоборот, большинство твёрдых веществ начинают разлагаться, так и не успевая расплавиться или испариться. К таким веществам относятся, например, гидроксид меди (II), карбонат кальция, целлюлоза.

Возможность существования веществ с ионным типом связи в твёрдом агрегатном состоянии объяснить легко. Катионы и анионы во всём объёме вещества притягиваются друг к другу. Чтобы заставить вещество расплавиться или перейти в газообразное состояние, его нужно нагреть, преодолев тем самым силы взаимного притяжения.

Твёрдое агрегатное состояние металлов тоже объяснимо. Атомы и катионы металла «не разлетаются», подобно атомам благородных газов, поскольку их удерживает вместе совокупность обобществлённых валентных электронов.

Почему же вещества молекулярного строения, у которых ковалентные связи образуются между атомами только в пределах одной молекулы, бывают и жидкие, и твёрдые? Что заставляет молекулы в таких веществах притягиваться друг к другу?

Молекулы в целом электронейтральны, однако и между ними могут возникнуть силы взаимного притяжения, получившие, как мы уже говорили ранее, название ван-дер-ваальсова взаимодействия. Причиной такого притяжения является главным образом электромагнитное взаимодействие электронов и ядер одной молекулы с электронами и ядрами другой. Межмолекулярные связи значительно менее прочны, чем химические, однако именно они приводят к тому, что вещества молекулярного строения могут существовать в конденсированном (т. е. жидком или твёрдом) состоянии.

ПЛАЗМА. Четвёртым агрегатным состоянием вещества считают **плазму** (от греч. *plasma* — вылепленный, оформленный).

Плазма — это частично или полностью ионизированный газ, в котором суммарный электрический заряд равен нулю.

При сильном нагревании вещество испаряется, превращается в газ. Если увеличивать температуру и далее, то молекулы газа начнут распадаться на составляющие их атомы, которые, в свою очередь, при дальнейшем нагревании превращаются в ионы. В состоянии плазмы находится подавляющая часть вещества Вселенной: звёзды, галактические туманности, межзвёздное пространство. Напомним, что солнечный ветер и ионосфера Земли не что иное, как плазма. Она образуется на поверхности нашей планеты в естественных условиях лишь при вспышках молний.

В лабораторных условиях плазма впервые была получена в виде газового разряда. Она заполняет лампы дневного света, стеклянные трубки неоновой рекламы и т. д. За последние годы применение плазмы существенно расширилось. Высокотемпературную плазму ($T \sim 10^6\text{—}10^8\text{ К}$) из смеси дейтерия с тритием пытаются использовать для осуществления управляемого термоядерного синтеза; низкотемпературную плазму ($T < 10^5\text{ К}$) — в различных газоразрядных приборах: газовых лазерах, ионных приборах, плазменных панелях телевизоров и т. п.



Следующий параграф будет посвящён более подробному знакомству с газообразными веществами, в том числе с классом предельных углеводородов — алканов, и природным газом.

Теперь вы знаете

- ▶ три положения молекулярно-кинетической теории
- ▶ в чём заключается модель «идеальный газ»
- ▶ как происходило развитие молекулярно-кинетической теории в XIX в.
- ▶ чем различаются агрегатные состояния вещества

Теперь вы можете

- ▶ сформулировать три положения молекулярно-кинетической теории в современном варианте
- ▶ объяснить, что такое идеальный газ, и написать уравнение состояния идеального газа
- ▶ перечислить, какие бывают агрегатные состояния вещества, привести примеры взаимных переходов агрегатных состояний вещества
- ▶ охарактеризовать плазму и указать области её применения

☉ Выполните задания

1. Охарактеризуйте газообразное, жидкое и твёрдое состояния вещества.
2. Назовите группы, на которые делятся газы по химическому составу, а также природные газовые смеси.
3. Сформулируйте закон Авогадро, скажите, какое следствие из этого закона имеет наибольшее практическое значение.
4. Дайте определения взаимных переходов агрегатных состояний «газ — жидкость», «жидкость — твёрдое вещество», «твёрдое вещество — газ».
5. Приведите примеры природных жидких смесей и твёрдых веществ с разным типом химической связи.

☉ Темы для рефератов

1. Историческое развитие молекулярно-кинетической теории.
2. Кинетическая теория газов Дж. Максвелла.
3. Л. Больцман — основатель статистической механики и молекулярно-кинетической теории.
4. Плазма в природе и технике.

§ 7. Углеводороды

1. Назовите важнейшие месторождения природного газа в нашей стране, покажите их на карте.
2. Перечислите нетрадиционные источники энергии и страны, где они находят применение.
3. Расскажите, какие правила техники безопасности нужно соблюдать при работе с бытовым газом.

ХАРАКТЕРИСТИКА И СВОЙСТВА АЛКАНОВ. Продолжим характеристику газообразных веществ знакомством с важнейшей группой органических соединений — углеводородами.

Название «углеводороды» говорит само за себя: это вещества, молекулы которых состоят из атомов двух элементов — углерода и водорода. Благодаря уникальной способности атомов углерода соеди-



Рис. 29. Основные месторождения природных источников углеводородов (нефти, газа, каменного угля) в Российской Федерации

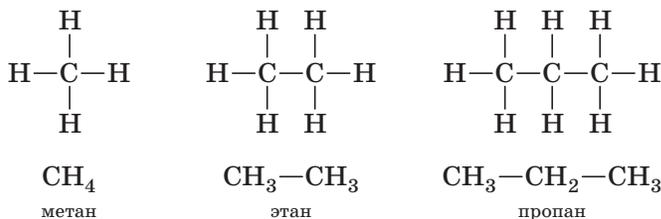
няться друг с другом в цепи различной длины и формы, таких соединений великое множество. Поэтому их делят на классы. Мы остановимся на краткой характеристике только одного класса — **предельные углеводороды**, или **алканы**. И это не случайно, поскольку предельные углеводороды — это основная составная часть природного газа и нефти. Наша страна занимает одно из ведущих мест в мире по запасам, добыче, экспорту и переработке углеводородного сырья (рис. 29).

Знание этой темы представляет определённый профессиональный интерес не только для тех, кто хочет углублённо изучать естественные науки, но также для будущих юристов и экономистов, обществоведов и политологов, инженеров и экологов. Природные источники углеводородов являются связующим звеном межгосударственных отношений в политической и экономической области и вместе с тем причиной вооружённых конфликтов и войн за контроль над ними.

Итак, вернёмся к характеристике предельных углеводородов.

***Алканы (предельные углеводороды, парафины)** — это углеводороды, в молекулах которых все валентности атомов углерода, не задействованные на образование простых связей С—С, насыщены атомами водорода; состав алканов соответствует общей формуле C_nH_{2n+2} .*

Приведём развёрнутые и сокращённые структурные формулы, а также названия первых трёх представителей ряда алканов:



Свойства предельных углеводородов зависят от состава их молекул, т. е. от относительной молекулярной массы, что наглядно иллюстрирует таблица 1.

ТАБЛИЦА 1
ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АЛКАНОВ

Название	Формула	Относительная молекулярная масса	Агрегатное состояние	Плотность, г/мл	$T_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$
Метан	CH_4	16	Газ	—	-161,6
Этан	C_2H_6	30	Газ	—	-88,5
Пропан	C_3H_8	44	Газ	—	-42,2
Бутан	C_4H_{10}	58	Газ	—	-0,5
Пентан	C_5H_{12}	72	Жидкость	0,626	36,1
Гексан	C_6H_{14}	86	Жидкость	0,659	68,7
Гептан	C_7H_{16}	100	Жидкость	0,684	98,4
Октан	C_8H_{18}	114	Жидкость	0,703	125,7
Нонан	C_9H_{20}	128	Жидкость	0,718	150,8
Декан	$\text{C}_{10}\text{H}_{22}$	142	Жидкость	0,730	174,1

Нетрудно заметить, что с ростом относительной молекулярной массы у алканов возрастают температура кипения, плотность, а также изменяется агрегатное состояние: первые четыре алкана — газообразные вещества, следующие одиннадцать — жидкости, а начиная с $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ — твёрдые вещества.

СОСТАВ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИРОДНОГО ГАЗА. Практически повсеместно на нашей планете в толще Земли встречается **природный газ**.

Природный газ — это смесь предельных углеводородов и неорганических газов, образующих месторождения.



Рис. 30. Добыча природного газа

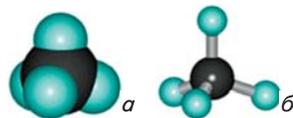


Рис. 31. Модели метана:
а — объёмная; б — шаростержневая

Содержание каждого компонента зависит от месторождения, однако в любом случае в природном газе (рис. 30) преобладает метан (рис. 31), количество других углеводородов резко сокращается с уменьшением их относительной молекулярной массы (табл. 2).

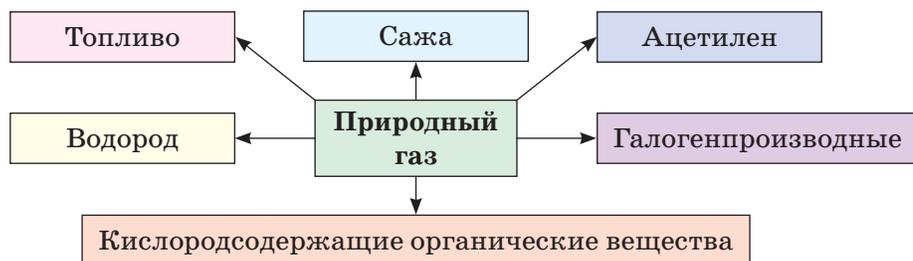
ТАБЛИЦА 2
ПРИМЕРНЫЙ СОСТАВ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Компонент	Формула	Объёмная доля, %
Метан	CH_4	88—95
Этан	C_2H_6	3—8
Пропан	C_3H_8	0,7—2,0
Бутан	C_4H_{10}	0,2—0,7
Пентан	C_5H_{12}	0,03—0,5
Углекислый газ	CO_2	0,6—2,0
Азот	N_2	0,3—3,0
Гелий	He	0,01—0,5

При сгорании предельных углеводородов выделяется большое количество теплоты, поэтому природный газ служит самым эффективным и дешёвым топливом для тепловых электростанций, котельных установок, доменных и стекловаренных печей. Пропан-бутановая фракция природного газа в сжиженном виде используется как бытовое топливо и топливо для карбюраторных двигателей автомобилей. Кроме того, при полном сгорании алканов воздух практически не загрязняется вредными выбросами, поскольку продуктами их горения являются углекислый газ и водяной пар. В этом нетрудно убедиться, если записать уравнения реакций горения алканов, например метана:



Природный газ — это не только высокоэффективное топливо, но и важное сырьё для химической промышленности. Перед вами схема различных вариантов промышленной переработки природного газа.

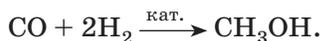


САЖА. СИНТЕЗ-ГАЗ. При полном разложении метана, основного компонента природного газа, образуются водород и сажа. Около 90% всей получаемой сажи использует резинотехническая промышленность. Резиновые изделия, автомобильные покрышки и камеры имеют чёрный цвет именно потому, что в качестве наполнителя в них добавляют сажу. Кроме того, это вещество входит в состав типографских красок, некоторых типов батареек.

При взаимодействии метана с перегретым водяным паром образуется смесь газов — оксида углерода (II) и водорода в соотношении 1 : 3. Эту смесь называют синтез-газом:



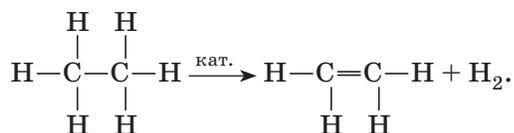
Синтез-газ используется для получения синтетического бензина — смеси предельных углеводородов, содержащих от 6 до 12 атомов углерода в молекуле. Такой бензин называется газовым, он используется в качестве основы низкосортного автомобильного топлива. Кроме того, синтез-газ используется для получения кислородсодержащих органических веществ, в частности метилового спирта:



ЭТИЛЕН. Второй представитель алканов — этан является сырьём для получения ценного газообразного вещества — этилена. У вас сразу возникла ассоциация: полиэтилен. Абсолютно верно: этилен действительно является сырьём для получения этой ценной пластмассы, с которой вы будете знакомиться при изучении полимеров. Покажем, как из этана получается этилен. Для этого сравните формулы первого (C_2H_6) и второго (C_2H_4) газов. Очевидно, чтобы из этана получить этилен, нужно из каждой его молекулы отнять два атома (молекулу) водорода, или, как говорят в химии, провести *реакцию дегидрирования*:



Обратите внимание, что в молекуле этилена все четыре валентности атомов углерода задействованы по-разному: три связаны с другими атомами, а четвёртая образует ещё одну связь между атомами углерода:



Сокращённая структурная формула этилена $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ показывает, что его молекула содержит двойную связь, а потому этот углеводород относится к *непредельным углеводородам*.

БИОГАЗ. В последнее время всё большее внимание привлекают нетрадиционные с технической точки зрения источники энергии: солнечное излучение, морские приливы и многое другое. Некоторые из них, например ветер, находили широкое применение и в прошлом, а сегодня переживают второе рождение. Одним из забытых видов сырья является и биогаз, использовавшийся ещё в Древнем Китае и вновь «открытый» в наше время.

Все природные источники углеводородного сырья, в том числе природный газ, имеют органическое происхождение. Нельзя ли использовать современные растительные и животные остатки для производства газообразных алканов сегодня, не дожидаясь результатов труда матушки-природы? Оказывается, это вполне возможно и в значительных масштабах уже используется во многих странах. Газ, полученный таким способом, и называется *биогазом*.

На заводах по производству биогаза в качестве сырья используются отходы животного и растительного происхождения — навоз, пищевые отходы, растительные массы, ботва. В генераторах-ферментёрах эти отходы перегнивают под действием анаэробных бактерий.

В отличие от природного газа биогаз содержит значительные количества оксида углерода (IV) — от 25 до 50%. Однако основным его компонентом, как и в природном газе, является метан. Биогаз можно использовать непосредственно для отопления жилищ, приготовления пищи или получения электроэнергии с помощью электрогенератора. Отходы после получения биогаза имеют высокое содержание азота и могут использоваться в качестве высокоэффективных, экологически безопасных удобрений.

Поскольку разложение органических отходов происходит за счёт деятельности определённых типов бактерий, существенное влияние на процесс получения биогаза оказывает окружающая среда. Так, количество вырабатываемого газа в значительной степени зависит от температуры: чем теплее, тем выше скорость и степень ферментации

органического сырья. Именно поэтому, вероятно, первые установки для получения биогаза появились в странах с тёплым климатом. Однако применение надёжной теплоизоляции, а иногда и подогретой воды позволяет освоить строительство генераторов биогаза в районах, где температура зимой опускается до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Существуют определённые требования и к сырью: оно должно быть подходящим для развития бактерий, содержать биологически разлагающееся органическое вещество и в большом количестве — воду (90—94%). Желательно, чтобы среда была нейтральной и без примеси веществ, мешающих действию бактерий, например мыла, стиральных порошков, антибиотиков. В среднем из 1 кг органического вещества при производстве биогаза получается 250 л метана, 160 л углекислого газа, 200 г воды и 300 г неразложимого остатка.

ЗАПАСЫ ПРИРОДНОГО ГАЗА В РОССИИ. В России находится почти 40% мировых запасов природного газа. Уникальные месторождения расположены на севере в Ямало-Ненецком автономном округе, а также на шельфах арктических морей. Всего в России более 12 нефтегазоносных регионов, занимающих почти половину территории страны (см. рис. 34). Запасы газа значительно больше, чем нефти. По оценкам специалистов на сегодняшний день добыто только около 5% мировых запасов голубого топлива.

Затраты на добычу и транспортировку природного газа постепенно возрастают. Это связано с исчерпанием его запасов в старых месторождениях, необходимостью вкладывать средства в разведку новых. Да и запасы природного сырья на Земле не безграничны.



Далее поговорим подробно о другом ценном полезном ископаемом — нефти и способах её переработки.

Теперь вы знаете

- ▶ каковы состав и основные свойства алканов
- ▶ состав природного газа
- ▶ каковы запасы природного газа в России
- ▶ что такое биогаз и как он используется

Теперь вы можете

- ▶ объяснить, что такое алканы, и перечислить их основные свойства
- ▶ дать характеристику природного газа, его состава и количественного содержания его компонентов
- ▶ назвать области применения сажи, синтез-газа, этилена, природного газа, биогаза

☉ Выполните задания

1. Определите, чем отличаются предельные углеводороды от непредельных.
2. Назовите первых трёх представителей ряда алканов, напишите их развёрнутые и сокращённые формулы.
3. Объясните, в чём преимущество газообразного топлива перед другими видами топлива.
4. Перечислите химические свойства метана, которые лежат в основе его применения, ответ проиллюстрируйте уравнениями соответствующих реакций.
5. Приведённую в параграфе схему вариантов промышленной переработки природного газа дополните короткими сообщениями и уравнениями реакций.

☉ Темы для рефератов

1. Топливо и его виды.
2. Биогаз, его производство и применение.
3. Южный и Северный потоки: проблемы и перспективы.
4. Роль России в мировой добыче и транспортировке газа.

§ 8. Жидкие вещества. Нефть

1. Перечислите основные нефтяные месторождения мира и России, покажите их на карте.
2. Объясните, почему нефть называют чёрным золотом.
3. Расскажите, что вы знаете об экологической катастрофе 2010 г. в Мексиканском заливе, каковы её причины и последствия.

ТЕОРИИ ПРОИСХОЖДЕНИЯ НЕФТИ. Из жидких веществ наиболее значимой в энергетическом отношении природной жидкостью является нефть.

Нефть — это горючая маслянистая жидкость, распространённая в осадочной оболочке Земли, важнейшее полезное ископаемое.

Давным-давно, около 200 млн лет назад, в толще Земли образовались залежи нефти. Её происхождение — одна из сокровенных тайн природы. Некоторые видные учёные, в числе которых был и Д. И. Менделеев, придерживались неорганической теории происхождения неф-

ти. Другие считали, что чёрное золото Земли представляет собой продукт разложения живых организмов. Современная наука имеет веские доказательства, что в доисторические времена микроскопические морские растения и животные оказались погребёнными под толщей осадочных пород, образовавшихся на дне морей. Там органические вещества в отсутствие кислорода воздуха подвергались воздействию высоких температур и давления, что привело к их разложению и образованию нефти и газа.

Нефть известна человеку с глубокой древности. В Персии жрецы для священного огня добывали её из колодцев. Места, где добывалась нефть, тщательно охранялись от посторонних и назывались *nephtai* или *nephtoi*, отсюда, как полагают, и произошло персидское слово «нефть».

И бил фонтан, и рассыпался искрами,
При свете их я Бога увидал:
По пояс голый, он с двумя канистрами
Холодный душ из нефти принимал.
И ожила земля, и помню ночью я
На той земле танцующих людей...
Я счастлив, что, превысив полномочия,
Мы взяли риск — и вскрыли вены ей!

В. Высоцкий



ВИДЫ И СВОЙСТВА НЕФТИ. Нефть принято называть чёрным золотом.

Однако она бывает не только чёрной, но и белой. Огромные запасы такой нефти обнаружены по притоку Оби — Васюгану. Здесь из буровых скважин (рис. 32) поднимается бесцветная жидкость, состоящая практически из чистого бензина. Химики установили, что из белой нефти можно просто и дешево получать высококачественный каучук, различные спирты, ароматические углеводороды и многие другие продукты.

Нефть залегает в недрах Земли, где она занимает свободное пространство между породами.

Как выглядит нефть, вы хорошо знаете. Это маслянистая жидкость тёмно-бурого, почти чёрного цвета, практически не растворимая в воде. Поскольку нефть легче воды, она всплывает и может растекаться по её поверхно-

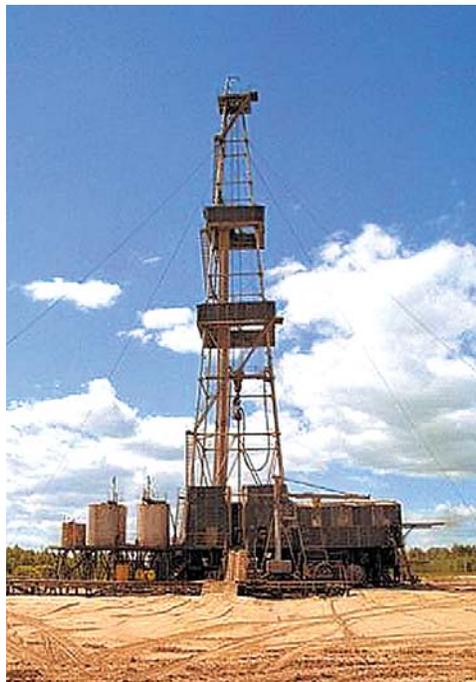


Рис. 32. Буровая вышка



Рис. 33. Горящая нефть

цы, перья которых покрываются несмываемым маслянистым налётом. Прибитые к берегу волной и ветром, нефтяные разливы загрязняют сотни километров береговой полосы.

Но нет ничего страшнее нефти горящей. Она горит даже на поверхности воды, и, естественно, потушить её водой невозможно. Огненное пекло, чёрный дым, сотни токсичных продуктов горения превращают нефтяной пожар в настоящий ад (рис. 33).

Почему же люди не договорятся прекратить добычу и использование нефти как источника повышенной опасности для человечества? К сожалению, в ближайшей перспективе сделать это невозможно, поскольку нефть — важнейший природный источник углеводородов, которые используются и как разнообразные виды топлива, и как богатейшее химическое сырьё.

СОСТАВ НЕФТИ. РЕКТИФИКАЦИЯ. Нефть — это настоящий природный коктейль, в каждой капле которого присутствует более 900 различных соединений! Её главная составная часть — это предельные углеводороды, содержащие от 6 до 50 атомов углерода в молекуле.

Необработанную нефть называют сырой, практически вся она поступает на переработку. Вначале из неё удаляют растворённые попутные газы, а также парафин, а затем отправляют на фракционную перегонку, или **ректификацию**.

Ректификацией (перегонкой) называют разделение жидких смесей на фракции, или отдельные компоненты, на основании различия в их температуре кипения.

Поскольку нефть представляет собой сложную смесь различных веществ, она не имеет определённой температуры кипения. При нагревании из нефти начинают выкипать компоненты в порядке увеличения их температуры кипения. Это даёт возможность разделить нефть на отдельные фракции, представляющие собой смесь близких по температуре кипения веществ.

Процесс ректификации происходит на специальных установках, называемых **ректификационными колоннами** (рис. 34). Нефть подают в нижнюю часть колонны и нагревают до температуры 340—360 °С. Выкипающие газообразные углеводороды поднимаются по колонне вверх, постепенно остывая. При охлаждении до температуры кипения пары вещества конденсируются, превращаясь в жидкость, на горизонтальных перегородках колонны — **тарелках**. Чем выше расположена тарелка, тем ниже температура кипения находящихся на ней жидких продуктов разделения нефти. Удаляя жидкость с определённых тарелок, получают отдельную нефтяную фракцию, кипящую в некотором интервале температур.



Рис. 34. Ректификационные колонны на нефтеперерабатывающем заводе

НЕФТЕПРОДУКТЫ. Характеристики типичных фракций перегонки нефти приведены в таблице 3.

ТАБЛИЦА 3
ФРАКЦИИ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ПРИ РЕКТИФИКАЦИИ НЕФТИ

Фракция	Температура кипения, °С	Число атомов углерода в молекуле
Углеводородный газ	< 20	3—4
Бензин	20—200	5—12
Лигроин	150—250	8—14
Керосин	180—300	12—18
Газойль (дизельное топливо)	275—400	17—22
Мазут	> 400	> 20

Бензин используется в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания автомобилей, **лигроин** — горючее для тракторов и сырьё для нефтехимических производств. На **керосине** летают современные реактивные самолёты. **Газойль** (или дизельное топливо) — это горючее

для дизельных двигателей теплоходов, тепловозов и большегрузных автомобилей.

Мазут — тёмная вязкая жидкость, остаток после перегонки нефти. Часть его используется как топливо для тепловых электростанций и котельных. Основное количество подвергается повторной ректификации, но уже при меньшем давлении. Почему? Вы знаете, что с уменьшением давления температура кипения жидкостей понижается. Поскольку мазут составляют высококипящие органические вещества, их ректификация потребовала бы создания высоких температур. Во-первых, это дорого, во-вторых, многие соединения разлагаются при таком воздействии. Поэтому ректификацию мазута проводят в вакууме, получая при этом всевозможные смазочные материалы, называемые минеральными маслами. Остаток после перегонки мазута — **гудрон** — используется для получения битума и асфальта, применяемых в дорожном строительстве.

Самая ценная фракция, получаемая при ректификации нефти, — это бензин. Однако из тонны сырой нефти можно получить не более 200 кг бензина. Поэтому часть нефтяных фракций, например лигроин и керосин, отправляют на дальнейшую переработку, в результате которой получают дополнительное количество бензина, а также другие важные продукты.

Если вы спросите, относится ли ректификация нефти к химическим явлениям, то ответ будет очевиден: нет. Потому что в процессе перегонки не наблюдается химических превращений одних веществ в другие, разделение происходит на основе физических явлений — испарения и конденсации веществ. А вот вторичная переработка нефтепродуктов уже сопровождается химическими реакциями.

КРЕКИНГ. Одним из таких процессов (вторичной переработки нефтепродуктов) является **крекинг**.



Владимир Григорьевич
Шухов

Крекингом называется процесс переработки нефтепродуктов при повышенной температуре и давлении с целью получения продуктов с меньшей молекулярной массой.

Термин «крекинг» произошёл от английского слова *cracking*, что в переводе означает «расщепление». Вместе с тем промышленный крекинг был впервые осуществлён русским инженером **В. Г. Шуховым** (1853—1939) в 1891 г. Основной реакцией процесса является разрыв углерод-углеродной связи

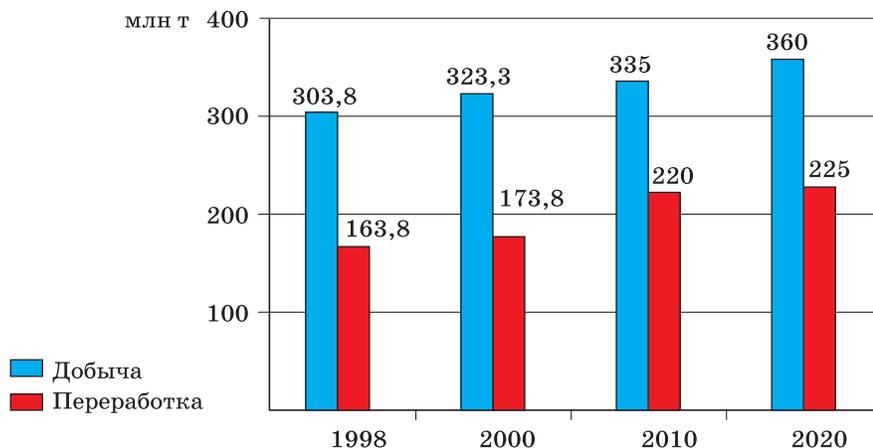


Рис. 35. Объём добычи и переработки нефти в России в 1998—2020 гг.

C—C исходного предельного углеводорода с образованием углеводородов с меньшей длиной углеродной цепи. Например, углеводороды керосиновой фракции перегонки нефти превращаются при этом в компоненты бензина.

МИРОВЫЕ ЗАПАСЫ НЕФТИ И ЕЁ ДОБЫЧА В РОССИИ И ДРУГИХ СТРАНАХ. Нефтегазовая отрасль даёт около половины доходов в казну России. Доля нефтяного (рис. 35) и газового добывающего сектора в ВВП составляет 20%. В отрасли работает около 1,5 млн человек — 1% всего населения страны. Всего в России по состоянию на 2012 г. работало более 30 нефтеперерабатывающих заводов.

Стоимость нефти постоянно колеблется: то растёт, то падает. Государственный бюджет Российской Федерации в немалой степени зависит от мировых цен на нефть.

Сведения о мировых запасах нефти значительно разнятся. Некоторые специалисты считают, что из недр Земли добыто 16% от её потенциала, ещё 17% разведано (около 15 млрд т), а остальные месторождения перспективные, т. е. ещё не открытые. На 2004 г. мировые разведанные запасы составляли 210 млрд т, добыча нефти по странам в 2009 г. показана на диаграмме (рис. 36). Нефтяные компании имеют в своём распоряжении порядка 14 млрд т запасов нефти — примерно 14% от мирового объёма. Специалисты полагают, что при нынешних темпах добычи и потребления нефти этих запасов хватит на 50 лет. Но разведка новых месторождений продолжается, к тому же уже отработанные месторождения через некоторое время снова начинают давать достаточно много чёрного золота. Оптимисты надеются, что при рациональной эксплуатации месторождений, открытии новых и пол-

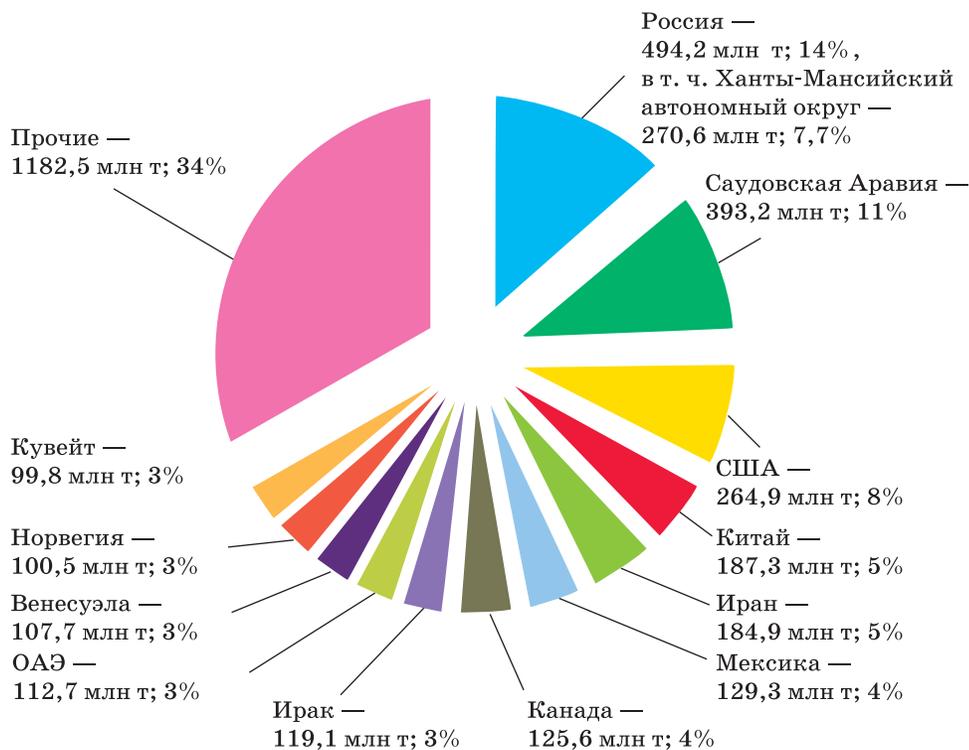


Рис. 36. Добыча нефти в мире в 2009 г.

ном использовании уже разработанных обеспечить нефтью можно будет пять грядущих поколений. Кроме того, необходимо увеличивать так называемый коэффициент извлечения нефти. В настоящее время экономически наиболее выгодно извлекать только первые 28—30% нефти одного месторождения, однако эту величину нужно доводить по крайней мере до 50%.

Как ни странно, экономически более выгодно экспортировать нефть за рубеж танкерами, а не по трубопроводам. В этом случае возможно продавать сырьё по ценам, устанавливаемым на рынке на конкретный день или даже время суток.



Своеобразным переходом от жидкого к твёрдому кристаллическому состоянию вещества являются жидкие кристаллы, о которых речь пойдёт в следующем параграфе.

☉ Теперь вы знаете

- ▶ что представляет собой нефть
- ▶ состав нефти
- ▶ каковы мировые запасы нефти и её добыча в России и других странах

☉ Теперь вы можете

- ▶ охарактеризовать основные свойства и состав нефти
- ▶ объяснить, что такое ректификация и крекинг
- ▶ перечислить фракции, получаемые при перегонке нефти
- ▶ рассказать о мировых запасах и добыче нефти в России и других странах

☉ Выполните задания

1. Назовите разные точки зрения на происхождение нефти.
2. Объясните, на каких свойствах нефти основана её перегонка и как используют нефтепродукты.
3. Приведите примеры известных вам международных вооружённых конфликтов, которые связаны с контролем над источниками нефти.
4. Дайте сравнительную характеристику процессов ректификации и крекинга.
5. Оцените, какое экономическое значение имеет добыча нефти для бюджета России, какова её доля в мировой добыче. Ответ проиллюстрируйте цифрами.

☉ Темы для рефератов

1. Роль нефти в развитии человеческой цивилизации (от Древнего мира до наших дней). 2. Значение России в мировой системе добычи и транспортировки нефти. 3. И. М. Губкин — основатель советской нефтяной геологии. 4. Нефтяной кризис 1973 г. — крупнейший энергетический кризис, его причины и последствия.

§ 9. Твёрдое состояние вещества. Жидкие кристаллы

1. Подберите синонимы к слову «аморфный», придумайте словосочетания с ними.
2. Назовите соборы в Москве, в интерьере которых есть витражи, и крупнейший православный храм Санкт-Петербурга, украшенный мозаиками.
3. Перечислите химические элементы из таблицы Менделеева, которые обладают пограничными свойствами.
4. Объясните, какие предметы и приборы современного быта ассоциируются у вас со словами «жидкие кристаллы».

КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА. Твёрдое состояние вещества по своему строению и свойствам подразделяют на *кристаллическое* и *аморфное*.

Атомы, молекулы или ионы твёрдых **кристаллических веществ**, в отличие от жидкостей и газов, занимают строго определённое место в пространстве, которое, как вы знаете, называется узлом. Если соединить узлы, в которых находятся частицы твёрдого вещества, вообразимыми линиями, то получится правильная пространственная решётка, называемая кристаллической. Вы уже знаете четыре типа кристаллических решёток: ионные, атомные, молекулярные и металлические, — можете назвать физические свойства веществ с этими типами решёток, которые заметно различаются. Однако у всех кристаллических веществ есть общее свойство: каждое из них имеет свою, строго определённую температуру плавления.

АМОРФНОСТЬ, ЕЁ ПРИЗНАКИ И СВОЙСТВА. А что же такое аморфное состояние вещества? «Аморфный» в переводе с греческого означает «бесформенный», т. е. в аморфных веществах образующие его частицы не имеют определённого расположения по всему объёму, как в кристалле. Частицы, образующие аморфное вещество, расположены беспорядочно, и только ближние атомы или молекулы-соседи располагаются в относительном порядке. Поэтому **аморфным** называют такое состояние твёрдых веществ, при котором они, подобно веществам, находящимся в кристаллическом состоянии, какое-то время сохраняют свою форму, но при определённых условиях эта форма изменяется, что сближает их с жидкостями. Например, восковая свеча, поставленная

вертикально, через некоторое время утолщается внизу. Попробуйте проделать нечто подобное с обыкновенной жевательной резинкой или кусочком пластилина. Результат будет таким же. По мере повышения температуры процесс размягчения ускоряется. Определённой температуры плавления у аморфных тел, в отличие от кристаллических, нет.

Помните у Пушкина: «Вода и камень, лёд и пламень»? Камень у поэта — символ твёрдости. Вы, разумеется, сможете назвать причину этого свойства камня. Он, как кусочек горной породы, состоит преимущественно из оксида кремния (IV), который имеет атомную кристаллическую решётку, а отсюда и большую твёрдость. Так ли всё просто в химическом мире? Оказывается, оксид кремния может быть не только кристаллическим твёрдым веществом, но и аморфным. В зависимости от условий затвердевания расплава (например, в зависимости от условий его охлаждения) в аморфном состоянии могут оказаться такие вещества, которые в обычном состоянии имеют кристаллическую структуру. Так, если расплавить кристалл кварца — оксида кремния (IV), то при его быстром охлаждении образуется плавленный аморфный кварц, который имеет меньшую плотность, чем кристаллический. Аморфный кварц широко используется для изготовления различных изделий, в том числе лабораторной посуды.

Аморфное состояние веществ неустойчиво, и рано или поздно оно переходит в кристаллическое. Например, в аморфном стекле под влиянием ударных нагрузок образуются мелкие кристаллы, и стекло мутнеет. Застывший твёрдый мёд засахаривается так же, как засахаривается при длительном хранении стекловидная карамель.

Пластическая сера (рис. 37), представляющая собой вещество в аморфном состоянии, через некоторое время превращается в кристаллическую ромбическую серу с молекулярной решёткой.

Таким образом, вещества в аморфном состоянии с точки зрения их структуры можно рассматривать как очень вязкие жидкости, а с точки зрения их свойств — как твёрдые вещества.

Аморфное и кристаллическое состояния вещества, являясь двумя крайними полюсами твёрдого состояния, тем не менее могут встречаться одновременно у одного и того же вещества. Многие полимеры, представляя собой в целом аморфные вещества, вместе с тем имеют участки кристаллической структуры. Этим определяется, например, высокая прочность полипропиленового и капронового волокон.



Рис. 37. Получение пластической серы



Рис. 38. Один из витражей собора Сент-Этьен в Меце (Франция). XIII в.



Рис. 39. Светильник из световодов, выполненных из тонких нитей плексигласа

Слово «аморфный» содержит в себе негативный оттенок. Однако это справедливо для характеристики личностных качеств человека. В мире химических веществ и материалов всё наоборот. Именно аморфные вещества являются нам в матовости драгоценного жемчуга, в медовом свечении янтаря, в скромном обаянии полудрагоценных опала и халцедона, в волшебном многоцветии витражей и мозаик (рис. 38), в изумительной игре света хрусталя и блеске зеркальных витрин.

Аморфность — ценное качество полимеров, так как оно обуславливает такое их технологическое свойство, как **термопластичность**. Именно благодаря термопластичности полимер можно вытянуть в тончайшую нить (рис. 39), превратить в прозрачную плёнку или отлить в изделие самой замысловатой формы.

ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ И УСЛОВНОСТЬ В ХИМИИ. Существование аморфных тел ещё раз доказывает философскую истину, что всё в мире относительно... Давайте посмотрим на пройденный материал под этим углом зрения.

Утверждение о том, что деление элементов на металлы и неметаллы универсально, является относительным, так как целый ряд элементов обладает пограничными свойствами — это и германий, и олово, и сурьма.

Один из наиболее ярких примеров относительности — двойственное положение водорода в Периодической системе (табл. 4). Каждому элементу там отведено строго определённое зарядом атомного ядра местоположение. И единственный элемент, которому в таблице Менделеева отведено два места, причём в резко противоположных группах (щелочных металлов и галогенов), — это водород.

ПОЛОЖЕНИЕ ВОДОРОДА В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Форма существования водорода как элемента	Признаки сходства	
	с щелочными металлами	с галогенами
Атомы	Имеет на внешнем, и единственном, электронном слое 1 электрон и относится к s-элементам, поэтому проявляет восстановительные свойства	До завершения внешнего, и единственного, электронного слоя не хватает электрона, поэтому проявляет окислительные свойства
Простые вещества	Получен металлический водород с соответствующей металлической кристаллической решёткой и электронной проводимостью	При обычных условиях H_2 — газ, подобно фтору и хлору, имеет двухатомную молекулу за счёт ковалентной химической связи
Сложные вещества	В подавляющем большинстве соединений у водорода степень окисления +1 (например, HCl)	С некоторыми металлами образует твёрдые солеподобные вещества часто ионного типа — гидриды, в которых имеет степень окисления -1 (например, CaH_2)

Деление химической связи на типы носит условный характер, так как все эти типы характеризуются определённым единством.

Ионную связь можно рассматривать как предельный случай ковалентной полярной связи. Металлическая связь совмещает ковалентное взаимодействие атомов с помощью обобществлённых электронов и электростатическое притяжение между этими электронами и ионами металлов.

В веществах часто отсутствуют предельные случаи химической связи (или чистые химические связи). Например, фторид лития LiF относят к ионным соединениям. Фактически же в нём связь на 80% ионная и на 20% ковалентная. Правильнее поэтому, очевидно, говорить о степени полярности (ионности) химической связи.

Различные типы связей могут быть у одних и тех же веществ, например:

- в основаниях: между атомами кислорода и водорода в гидроксогруппах связь ковалентная полярная, а между металлом и гидроксогруппой — ионная;

- в солях кислородсодержащих кислот: между атомами неметалла и кислородом кислотного остатка — ковалентная полярная связь, а между металлом и кислотным остатком — ионная;

- в солях аммония: между атомами азота и водорода — ковалентная полярная связь, а между ионами аммония и кислотным остатком — ионная;

- в пероксидах металлов (например, Na_2O_2): связь между атомами кислорода ковалентная неполярная, а между металлом и кислородом — ионная.

Также различные типы связей могут переходить одна в другую:

- при электролитической диссоциации в воде ковалентных соединений ковалентная полярная связь превращается в ионную;

- при испарении металлов металлическая связь превращается в ковалентную неполярную и т. д.

Причиной единства всех типов и видов химических связей служит их одинаковая физическая природа — *электронно-ядерное взаимодействие*, сопровождающееся выделением энергии.

Относительна взаимообусловленность физических свойств веществ и типа их кристаллической решётки. Так, например, немало веществ с атомной кристаллической решёткой, отнюдь не характеризующихся твёрдостью (графит, красный фосфор). И другой вариант: не тугоплавки некоторые вещества с ионной кристаллической решёткой (легкоплавки селитры — нитраты щелочных металлов).

ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ. Относительно и деление веществ на типы по их агрегатному состоянию. Об этом свидетельствуют так называемые **жидкие кристаллы**.

Жидкими кристаллами называются вещества, которые одновременно обладают свойствами жидкости (текучестью, способностью находиться в каплевидном состоянии) и твёрдого кристаллического вещества (анизотропией, т. е. зависимостью физических свойств — механических, тепловых, электрических и др. — от направления).

В настоящее время науке известно несколько тысяч веществ, образующих жидкие кристаллы. Жидкокристаллическое состояние присуще таким соединениям, молекулы которых имеют удлинённую, линейную форму. Для них направление осей молекул упорядоченно, т. е. сохраняется порядок во всём объёме по одному из трёх направлений пространства. Центры же масс молекул расположены беспорядочно.

В зависимости от того, как ориентируются молекулы в пространстве, различают три основных типа жидких кристаллов. В кристаллах *первого типа* оси молекул параллельны, а сами молекулы сдвинуты относительно друг друга на произвольные расстояния в направлении своих осей. В кристаллах *второго типа* молекулы параллельны друг другу и расположены слоями. Для кристаллов *третьего типа* харак-

терно закручивание молекул в перпендикулярном направлении от слоя к слою.

Особенности строения обуславливают свойства жидких кристаллов. Так, возможностью хаотического поступательного движения молекул объясняется текучесть, а их упорядоченным расположением — анизотропия таких физических свойств, как упругость, электропроводность, диэлектрическая и магнитная проницаемость и др.

Изучение жидких кристаллов показало, что их свойства изменяются в зависимости от температуры, длины волны внешнего излучения, механической деформации, электрического и магнитного полей. Это определяет возможность их широкого применения в системах хранения и обработки информации, в индикаторах и т. п.

Одним из свойств жидких кристаллов, нашедших широкое применение, является изменение цвета в зависимости от температуры. Это свойство позволяет использовать их для выявления структурных дефектов непрозрачных объектов: благодаря неодинаковой теплопроводности дефекты вызывают различные цветовые эффекты в плёнке жидкого кристалла.

На основе жидких кристаллов разработаны приборы, позволяющие изменять падающий световой поток, — модуляторы. Модулятор состоит из плёнки жидкого кристалла, расположенной между прозрачными электродами, и диафрагмы, роль которой может играть оправа чувствительного слоя приёмника.

Напряжение, подаваемое на жидкий кристалл, изменяет степень рассеяния им падающего света; при этом коэффициент рассеяния в некоторых пределах линейно зависит от напряжения. Изменяя определённым образом напряжение, можно изменить прозрачность слоя жидкого кристалла и соответственно поток проходящего излучения.

Жидкие кристаллы, оптические свойства которых изменяются под действием электрического поля, используются в цифровых индикаторах (часы, калькуляторы, весы и т. п. (рис. 40). Принцип работы таких индикаторов следующий. Жидкокристаллическое вещество помещается между чёрной металлической пластиной и тонкой, прозрачной для света металлической плёнкой, нанесённой на покровное стекло. Чёрная металлическая пластина и тонкая плёнка образуют конденсатор. Если на его обкладках напряжения нет, то свет проходит через жидкий кристалл и поглощается чёрной пластиной. Циферблат выглядит чёрным. Если к обкладкам конденсатора приложено напряжение, то жидкий кристалл рассеивает свет и становится непрозрач-



Рис. 40. Весы торговые с жидкокристаллическим дисплеем



Рис. 41. Телевизор с жидкокристаллическим экраном

ным. В этом случае циферблат будет светиться в тех местах, где создано электрическое поле. Если верхняя плёнка имеет форму цифры, то и область свечения получится в виде цифры. От создания первых индикаторов прошло всего лишь несколько лет, как мы увидели телевизоры (рис. 41) с жидкокристаллическим экраном. Изображение на экране такого телевизора высокого качества, а электроэнергии он потребляет меньше, чем обычный.

Жидкие кристаллы играют большую роль в жизнедеятельности человеческого организма. Так, белок, входящий в состав мышечной ткани, обладает способностью образовывать жидкие кристаллы. Волокна гладких и поперечно-полосатых мышц имеют структуру жидкого кристалла, благодаря чему могут растягиваться и сжиматься, не разрушаясь. Вещество коллаген, содержащееся в опорных тканях (костях, сухожилиях) и в мозге, также близко по структуре к жидким кристаллам. Мозг человека по своей природе представляет сложную жидкокристаллическую систему. В белом веществе мозга и проводящих путях нервной системы жидкие кристаллы играют роль диэлектриков.

Форма жидких кристаллов наиболее удобна для протекания биологических процессов. Она соединяет в себе устойчивость к внешним воздействиям с необычайной пластичностью, гибкостью. Жидкокристаллические волокнистые образования обладают значительной прочностью, что необходимо для опорных тканей. Помимо этого, жидкокристаллическое состояние очень чувствительно ко всем внутриклеточным процессам. Это объясняет, почему жидкие кристаллы обнаруживаются в важнейших функциональных участках клетки.

ПРИМЕРЫ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ В БИОЛОГИИ И ФИЗИКЕ. Огромное количество примеров относительности явлений можно привести из биологии. Вспомним лишь некоторые примеры из курса естествознания 10 класса. Например, вирусы — своеобразный мостик между живой и неживой природой. Они имеют свойства живых организмов, лишь попадая в клетку. Подобно живым организмам, вирусы, зацепившись за оболочку клетки, растворяют её и впрыскивают в клетку свою нуклеиновую кислоту. Эта РНК или ДНК заставляет клетку-хозяина производить многочисленные копии вируса. Вне клетки вирусы представляют собой кристаллические вещества, напоминая объекты неживой природы.

Другой пример связан с эвгленой зелёной. Она иллюстрирует относительность принадлежности простейших к животным, потому что, подобно растениям, содержит хлоропласты и на свету, как и растения, способна синтезировать органические вещества из углекислого газа и воды, т. е. осуществлять фотосинтез.

Замечательной физической иллюстрацией относительности явлений служит теория, которая так и называется — теория относительности *А. Эйнштейна* (1879—1955).

Мы привели всего лишь некоторые примеры относительности из ряда ключевых естественно-научных понятий. Это должно убедить вас в том, что в окружающем нас мире не так много абсолютных истин, что этот мир нарисован не только чёрной и белой красками, он многолик, многоцветен и бесконечно прекрасен.



Следующий параграф будет посвящён классификации и описанию свойств органических и неорганических веществ, а также доказательствам относительности приведённой классификации.

Теперь вы знаете

- ▶ что такое кристаллическое состояние вещества
- ▶ что такое аморфность, её признаки и свойства
- ▶ в чём заключается относительность и условность в химии
- ▶ что представляют собой жидкие кристаллы

Теперь вы можете

- ▶ объяснить, в чём суть аморфного состояния твёрдых веществ, перечислить известные вам аморфные вещества и указать область их применения
- ▶ проиллюстрировать наиболее яркими примерами из химии, биологии и физики относительность явлений
- ▶ назвать свойства жидких кристаллов и причины, по которым эти свойства изменяются
- ▶ описать, какую роль играют жидкие кристаллы в жизнедеятельности человеческого организма

Выполните задания

1. Дайте характеристику аморфных веществ, объясните, что у них общего с жидкостями и кристаллами.

2. Сформулируйте, что доказывает двойственное положение водорода в Периодической системе химических элементов Д. И. Менделеева и почему деление химической связи на типы носит условный характер.
3. Опишите, что представляют собой жидкие кристаллы, перечислите их типы и области применения.

☉ Темы для рефератов

1. История стекла в человеческой цивилизации.
2. Искусственные полимеры: взгляд в будущее.
3. От принципа относительности Г. Галилея — к теории относительности А. Эйнштейна.
4. Жидкие кристаллы и человеческий организм.
5. История открытия жидких кристаллов.

§ 10. Классификация неорганических веществ и её относительность

1. Объясните, что такое классификация. Приведите примеры классификаций из биологии, астрономии, математики, других наук.
2. Назовите классы простых и сложных веществ, принятые в неорганической химии.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПРИРОДНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ. Философская истина «Всё в нашем мире относительно» — справедлива и для классификации веществ и их свойств. Великое многообразие веществ во Вселенной и на нашей планете состоит всего лишь из 90 химических элементов. В природе встречаются вещества, построенные элементами с порядковыми номерами с 1-го по 91-й включительно. Элемент 43-й — технеций — в настоящее время на Земле в природе не обнаружен, так как не имеет стабильных изотопов. Он был получен искусственно в результате ядерной реакции. Отсюда и название элемента: от греческого *techñetós* — «искусственный».

Все земные природные химические вещества, построенные из 90 элементов, можно разделить на два больших типа — **неорганические** и **органические**.

Органическими веществами называют соединения углерода, за исключением простейших — оксидов углерода, карбидов металлов, угольной кислоты и её солей; все остальные вещества относятся к неорганическим.

Органических веществ насчитывается более 27 млн — гораздо больше, чем неорганических, число которых, по самым оптимистическим подсчётам, не превышает 400 тыс. О причинах многообразия органических соединений мы поговорим чуть позже, а пока отметим, что резкой границы между двумя этими группами веществ не существует. Например, соль изоцианат аммония NH_4NCO считается неорганическим соединением, мочеви́на $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$, имеющая точно такой же элементный состав $\text{N}_2\text{H}_4\text{CO}$, — вещество органическое.

Вещества, имеющие одинаковую молекулярную формулу, но разное химическое строение, а потому и разные свойства, называются изомерами.

Например, формулу $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ имеют два химических вещества — диметиловый эфир и этиловый спирт.

КЛАССИФИКАЦИЯ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ. Неорганические вещества принято делить на два подтипа — *простые* и *сложные*. Как вы уже знаете, простыми называют вещества, состоящие из атомов одного химического элемента, а сложные — из двух и более химических элементов.

Казалось бы, число простых веществ должно совпадать с числом химических элементов. Однако это не так. Дело в том, что атомы одного и того же химического элемента могут образовывать не одно, а несколько различных простых веществ. Такое явление, как вы уже знаете, называют аллотропией. Причинами аллотропии может быть разное число атомов в молекуле (например, аллотропные модификации элемента кислорода — кислород O_2 и озон O_3), а также различное строение кристаллической решётки твёрдого вещества (например, уже знакомые вам аллотропные видоизменения углерода — алмаз и графит).

В подтипе простых веществ выделяют *металлы*, *неметаллы* и *благородные газы*, причём последние часто относят к неметаллам. В основе такой классификации лежат физические свойства простых веществ, обусловленные строением атомов химических элементов, из которых эти вещества образованы, и типом кристаллической решётки. Вам известно, что металлы обладают хорошей электро- и теплопроводностью, пластичны, имеют металлический блеск. Неметаллы, как правило, такими свойствами не обладают. Наша оговорка «как правило» не случайна, она ещё раз подчёркивает относительность классификации простых веществ. Некоторые металлы по свойствам напоминают неметаллы (например, аллотропная модификация олова — серое олово является комкообразным или порошкообразным веществом серого цве-



Рис. 42. Олово:
а — белое олово;
б — аллотропная
 модификация — серое
 олово

та, не проводит электрический ток, лишено блеска и пластичности; рис. 42). Тогда как белое олово, другая аллотропная модификация, — типичный металл. Напротив, неметалл графит, аллотропная модификация углерода, обладает хорошей электропроводностью, характерным металлическим блеском.

Самая общая классификация сложных неорганических веществ хорошо вам знакома из курса химии основной школы. Здесь выделяют четыре класса соединений: *оксиды, основания, кислоты и соли*.

Деление неорганических веществ на классы проводят на основании их состава, который, в свою очередь, отражается на свойствах соединений.

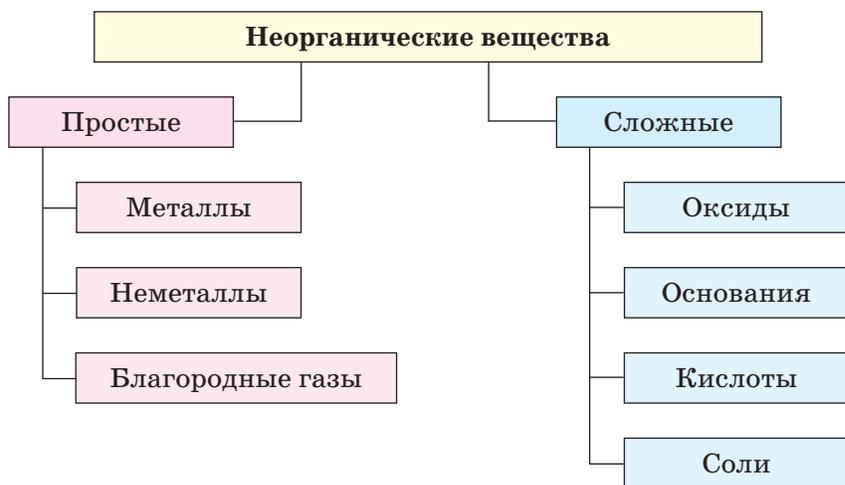
» **Напомним**, что *оксидами* называют сложные вещества, состоящие из двух элементов, один из которых — кислород в степени окисления -2 (например, H_2O , CO_2 , CuO).

Основания — сложные вещества, состоящие из атома металла и одной или нескольких гидроксогрупп (например, $NaOH$, $Ca(OH)_2$).

Кислоты — сложные вещества, состоящие из атомов водорода и кислотного остатка (например, HCl , HNO_3 , H_2SO_4 , H_3PO_4).

Соли — сложные вещества, состоящие из атомов металла и кислотных остатков (например, $NaNO_3$, K_2SO_4 , $AlCl_3$).

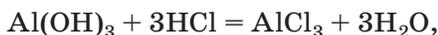
Вот так на схеме выглядит классификация неорганических веществ.



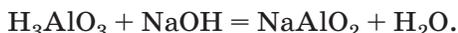
Но подобная классификация и определения также весьма относительны.

Во-первых, роль металла в основаниях и солях могут выполнять сложные частицы наподобие знакомого вам катиона аммония NH_4^+ , построенные элементами-неметаллами.

Во-вторых, существует достаточно многочисленная группа веществ, которые по формальным признакам (по составу) являются основаниями, а по свойствам относятся к амфотерным гидроксидам, т. е. сочетают свойства оснований и кислот. Например, гидроксид алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$ при взаимодействии с кислотой ведёт себя как основание:



а при сплавлении с щелочами проявляет свойства кислоты:



В-третьих, в приведённую выше классификацию сложных неорганических веществ не попадёт большое число соединений, которые нельзя отнести ни к одному из перечисленных классов. Это, например, соединения, образованные двумя или более элементами-неметаллами (хлорид фосфора (V) PCl_5 , сульфид углерода CS_2 , фосген COCl_2).



Как классифицируют органические вещества, будет рассказано в следующем параграфе.

Теперь вы знаете

- ▶ как классифицируют простые и сложные неорганические вещества
- ▶ какова причина аллотропии

Теперь вы можете

- ▶ доказать, что классификация неорганических веществ относительна
- ▶ объяснить, почему число простых веществ превышает число химических элементов

Выполните задания

1. Дайте определение понятия «аллотропия», приведите примеры аллотропных модификаций разных веществ.
2. Определите, какими веществами являются благородные газы — атомного или молекулярного строения, подкрепите свой ответ аргументами в пользу той и другой точки зрения.
3. Перечислите четыре класса неорганических веществ, проиллюстрируйте их свойства двумя-тремя уравнениями химических реакций.
4. С помощью уравнений химических реакций докажите, что амфотерные гидроксиды проявляют свойства как кислот, так и оснований.

5. Карбонат кальция (мел, мрамор, известняк) вдохновлял скульпторов, художников, поэтов. Например, поэт И. Сельвинский пишет:
Видишь мрамор? Это просто кальций.
Химия. Породистый кристалл.
Но коснулись этой глыбы пальцы,
И Венерой вышла красота.
Какую неточность с точки зрения химии допустил поэт?

☉ Темы для рефератов

1. Аллотропия олова. 2. Аллотропия фосфора. 3. Аллотропия углерода.

§ 11. Теория химического строения органических соединений А. М. Бутлерова

Какой основополагающий закон является теоретической основой неорганической химии?

КЛАССИФИКАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ. Классификация органических веществ ещё более сложна. Это обусловлено целым рядом причин: чрезвычайной многочисленностью органических соединений, сложностью и разнообразием их строения, да и самой историей изучения соединений углерода.

Действительно, до середины XIX в. органическая химия, по образному выражению немецкого химика **Ф. Вёлера** (1800—1882), представлялась «дремучим лесом, полным удивительных вещей, безграничной чащей, из которой нельзя выбраться, куда не осмеливаешься проникнуть». Вёлер установил существование явления изомерии, впервые осуществил синтез органического вещества (мочевины) из неорганического.



Фридрих Вёлер

Только с появлением в 1861 г. теории химического строения органических соединений «дремучий лес» органической химии стал преобразовываться из «безграничной чащи» в «залитый солнечным светом регулярный парк со строгой сеткой аллей и дорожек». Авторами этой теории были выдающиеся химики: русский — **А. М. Бутлеров**; немецкий — **Ф. Кёкуле**, английский — **А. Купер**.

Сущность созданной ими теории химического строения можно сформулировать в виде трёх положений.

1. *Атомы в молекулах соединены в определённом порядке в соответствии с их валентностью, причём углерод в органических соединениях четырёхвалентен.*

2. *Свойства веществ определяются не только качественным и количественным элементным составом, но и порядком связи атомов в молекулах, т. е. химическим строением.*

3. *Атомы в молекулах оказывают друг на друга взаимное влияние, что отражается на свойствах веществ.*

Сегодня кажется невероятным, что до середины XIX в., в период великих открытий в естествознании, учёные плохо представляли себе внутреннее устройство вещества. Именно Бутлеров ввёл термин «химическое строение», подразумевая под ним систему химических связей между атомами в молекуле, их взаимное расположение в пространстве. Благодаря такому пониманию строения молекулы оказалось возможным объяснить явление изомерии, предсказать существование неизвестных изомеров, соотнести свойства веществ с их химическим строением.

В качестве иллюстрации явления изомерии приведём основные характеристики и формулы двух веществ — этилового спирта и диметилового эфира (табл. 5), имеющих одинаковый элементный состав C_2H_6O , но различное химическое строение (рис. 43).



Александр Михайлович Бутлеров

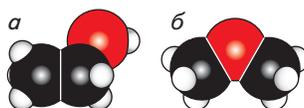


Рис. 43. Объёмные модели молекул:
а — этилового спирта;
б — диметилового эфира

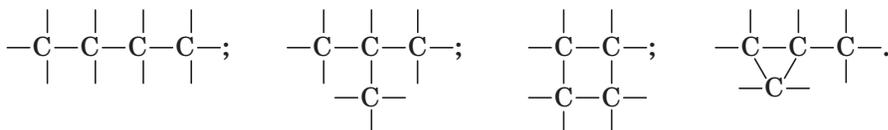
ТАБЛИЦА 5

СРАВНЕНИЕ СВОЙСТВ ЭТИЛОВОГО СПИРТА И ДИМЕТИЛОВОГО ЭФИРА

Признаки сравнения	Этиловый спирт	Диметиловый эфир
Структурная формула	CH_3-CH_2-OH	CH_3-O-CH_3
Температура кипения ($^{\circ}C$)	78,4	-23,7
Агрегатное состояние	Жидкость	Газ
Растворимость в воде	Растворим	Малорастворим
Взаимодействие с натрием	Реагирует	Не реагирует
Реакция дегидратации	Характерна	Не характерна

Явление изомерии, очень широко распространённое в органической химии, является одной из причин многообразия органических веществ.

Другая причина многообразия органических веществ заключается в уникальной способности атома углерода образовывать друг с другом химические связи, в результате чего получаются углеродные цепи различной длины и строения: неразветвлённые, разветвлённые, замкнутые. Например, четыре атома углерода могут образовать такие цепи:



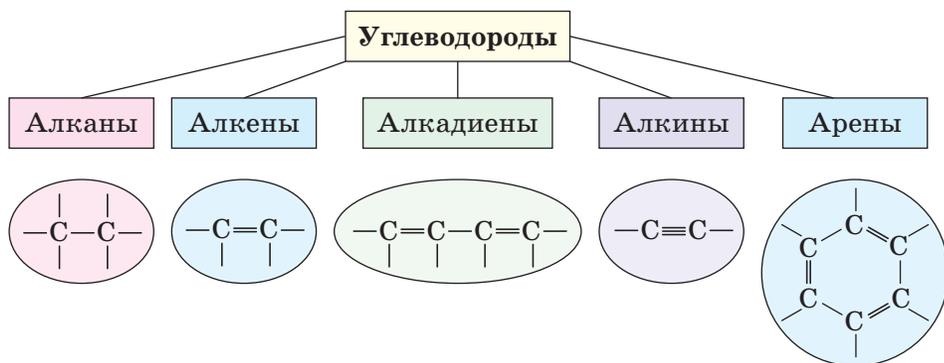
Если учесть, что между двумя атомами углерода могут существовать не только простые (одинарные) связи C—C, но и двойные C=C, и тройные C≡C, то число вариантов углеродных цепей и, следовательно, различных органических веществ значительно увеличивается.

На теории химического строения А. М. Бутлерова основана и классификация органических веществ.

КЛАССИФИКАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ. В зависимости от того, атомы каких химических элементов входят в состав молекулы, все органические вещества можно условно разделить на несколько больших групп: *углеводороды, кислородсодержащие, азотсодержащие соединения.*

» **Напомним,** что углеводородами называются органические соединения, состоящие только из атомов углерода и водорода.

По строению углеродной цепи, наличию или отсутствию в ней кратных связей все **углеводороды** делятся на несколько классов. Эти классы представлены на схеме.



Если углеводород не содержит кратных связей и цепь углеродных атомов не замкнута, он относится, как вы знаете, к классу предельных

углеводородов, или *алканов*. Суффикс «-ан» указывает на принадлежность углеводорода к этому классу. Напомним формулы и названия первых представителей класса алканов, содержащих в молекуле от 1 до 6 атомов углерода:

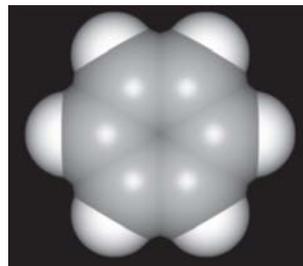
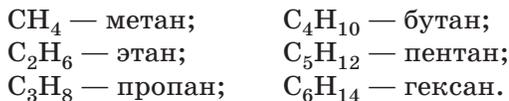


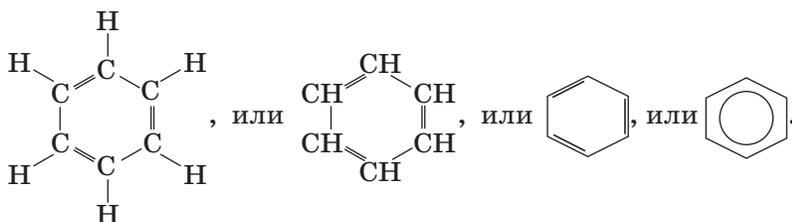
Рис. 44. Модель молекулы бензола

Наличие в молекуле углеводорода одной двойной связи позволяет отнести его к классу **алкенов**, причём его отношение к этой группе веществ подчёркивается суффиксом «-ен» в названии. Простейшим алкеном является этилен, имеющий формулу $\text{CH}_2=\text{CH}_2$.

Двойных связей $\text{C}=\text{C}$ в молекуле может быть две, в этом случае вещество относится к классу **алкадиенов** (попытайтесь сами пояснить значение суффиксов). Например, бутадиен-1,3 имеет структурную формулу: $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}=\text{CH}_2$.

Углеводороды с тройной углерод-углеродной связью в молекуле называют **алкинами**, на принадлежность к этому классу веществ указывает суффикс «-ин». Родоначальником класса алкинов выступает ацетилен, молекулярная формула которого C_2H_2 , а структурная $\text{HC}\equiv\text{CH}$.

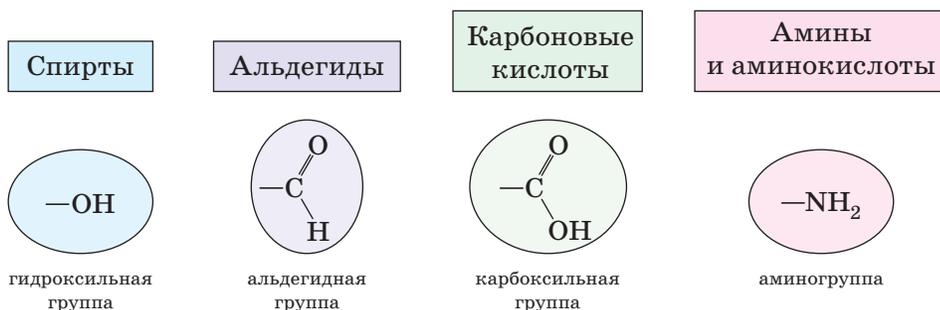
Из соединений с замкнутой цепочкой углеродных атомов важнейшими являются **арены** — особый класс углеводородов, название первого представителя которых вы наверняка слышали, это бензол C_6H_6 (рис. 44), структурная формула которого выглядит следующим образом:



Как вы уже поняли, помимо углерода и водорода в состав органических веществ могут входить атомы других элементов, в первую очередь кислорода и азота. Чаще всего атомы этих элементов в различных сочетаниях образуют группы, которые называют **функциональными**.

Функциональной называют группу атомов, определяющую наиболее характерные химические свойства вещества и его принадлежность к определённому классу соединений.

Основные классы органических соединений, содержащих функциональные группы, представлены на схеме.



Функциональная группа $-\text{OH}$ называется *гидроксильной* и определяет принадлежность к одному из важнейших классов органических веществ — **спиртам**. Названия спиртов образуются с помощью суффикса «-ол». Например, наиболее известный представитель спиртов — это этиловый спирт, или этанол $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$.

Атом кислорода может быть связан с атомом углерода двойной химической связью. Группа $\text{C}=\text{O}$ называется *карбонильной*. Карбонильная группа входит в состав нескольких функциональных групп, в том числе альдегидной и карбоксильной. Органические вещества, содержащие эти функциональные группы, называются соответственно **альдегидами** и **карбоновыми кислотами**. Например, наиболее известный представитель альдегидов — это формальдегид HCOH (рис. 45, а) и уксусный альдегид CH_3COH . С уксусной кислотой CH_3COOH (рис. 45, б), раствор которой называется столовым уксусом, наверняка знаком каждый.

Отличительным структурным признаком азотсодержащих органических соединений, в первую очередь **аминов** и **аминокислот**, является присутствие в их молекулах *аминогруппы* $-\text{NH}_2$.

Приведённая классификация органических веществ также весьма относительна. Подобно тому, как в одной молекуле (например, алкадиенов) может содержаться две кратные связи, вещество может принадлежать к двум (и даже более) функциональным группам. Так, структурными единицами главных носителей жизни на Земле — белковых молекул — являются **аминокислоты**. В молекулах этих веществ присутствуют две функциональные группы — карбоксильная и аминогруппа. Простейшая аминокислота называется глицином и имеет формулу $\text{H}_2\text{N}-\text{CH}_2-\text{COOH}$.

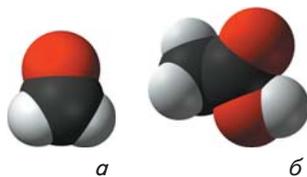


Рис. 45. Модель молекулы: а — формальдегида; б — уксусной кислоты

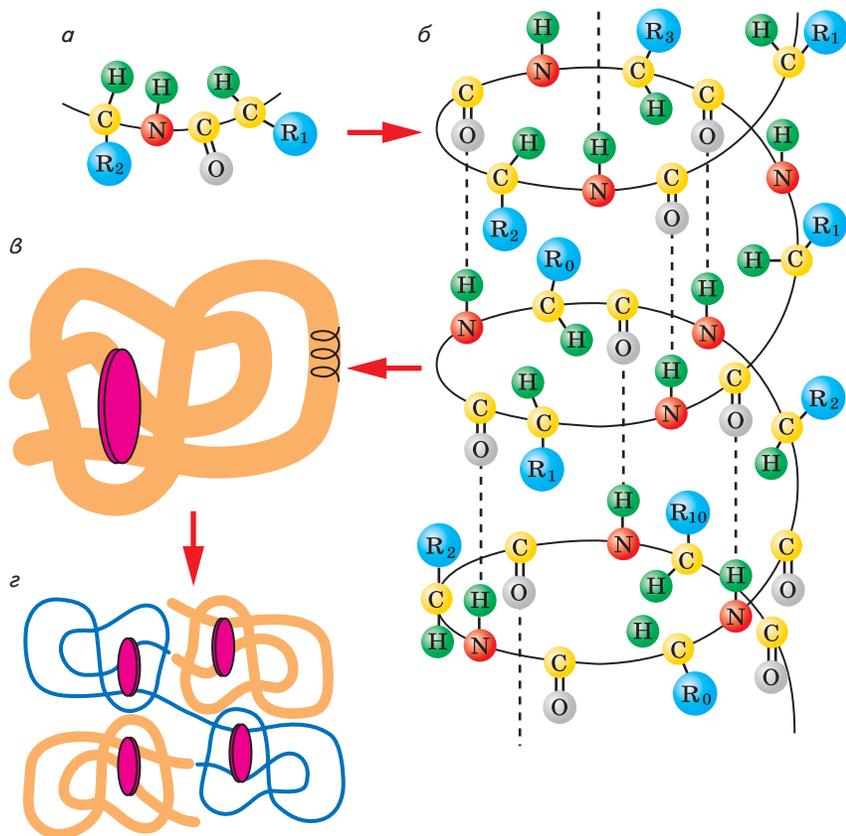


Рис. 46. Структура белковой молекулы, состоящей из нескольких полипептидных цепочек: *а* — первичная; *б* — вторичная; *в* — третичная; *г* — четвертичная

Подобно амфотерным гидроксидам, аминокислоты сочетают в себе свойства кислот (за счёт карбоксильной группы) и оснований (благодаря наличию в молекуле аминогруппы). Для развития живых организмов амфотерные свойства аминокислот имеют особое значение — за счёт взаимодействия аминогрупп и карбоксильных групп аминокислоты соединяются в полимерные цепочки белков различной структуры (рис. 46).



Далее мы подробно остановимся на полимерах, поговорим об их видах и свойствах, а также о разных полимерных материалах.

☉ Теперь вы знаете

- ▶ основные положения теории химического строения органических соединений А. М. Бутлерова, Ф. Кекуле, А. Купера
- ▶ классификацию органических веществ

☉ Теперь вы можете

- ▶ доказать, что классификация органических веществ относительна
- ▶ сформулировать три основных положения теории химического строения А. М. Бутлерова
- ▶ назвать классы, на которые делятся все углеводороды

☉ Выполните задания

1. Дайте определение понятия «изомер», приведите примеры изомеров.
2. Назовите основные классы органических соединений, содержащих функциональные группы.
3. Отнесите вещества, формулы которых C_6H_6 , C_2H_6 , C_2H_4 , $HCOOH$, CH_3OH , $CH_3-C(=O)H$, $C_6H_{12}O_6$, к соответствующим классам органических соединений и дайте их названия. Можете использовать Интернет.
4. Структурная формула глюкозы $CH_2OH-(CHOH)_4-C(=O)H$. К какому классу вы отнесёте это соединение? Почему его называют веществом с двойственной функцией?

☉ Темы для рефератов

1. А. М. Бутлеров — выдающийся русский химик.
2. Изомерия и многообразие органических веществ.
3. Аминокислоты — «кирпичики» жизни.
4. Области применения альдегидов в промышленности и народном хозяйстве.

§ 12. Полимеры

1. Перечислите предметы из различных полимерных материалов, окружающие вас в квартире, в школе, на транспорте.
2. Расскажите, что вам известно об истории шёлка и Великом шёлковом пути.
3. Докажите, что XXI век — это век полимеров.

СТРУКТУРА И КЛАССИФИКАЦИЯ ПОЛИМЕРОВ. В сознании любого человека понятие «полимеры» ассоциируется с чем-то необыкновенно большим, крупным. В действительности, это так и есть.

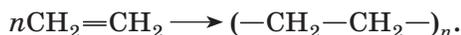
Полимерами называют вещества, молекулы которых состоят из множества повторяющихся структурных звеньев, соединённых между собой химическими связями.

Эти повторяющиеся структурные фрагменты в макромолекуле полимера называют *элементарным звеном* и в химической формуле записывают в круглых скобках. Число элементарных звеньев называют *степенью полимеризации*. Поскольку степень полимеризации для каждой конкретной молекулы полимера может варьироваться в значительных пределах, её обозначают не числом, а подстрочным индексом n в формуле вещества. Например, химическую формулу одного из самых распространённых полимеров — полиэтилена записывают так: $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$, где $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)$ — элементарное звено, n — степень полимеризации.

Вещество, из которого образуется полимер, называется *мономером*. По природе мономера различают *неорганические* и *органические полимеры*.

Превращение мономера в полимер может осуществляться в ходе **реакции полимеризации** (в этом случае помимо полимера в результате реакции не образуется никаких других веществ) или **реакции поликонденсации** (в таких реакциях кроме полимера образуются также низкомолекулярные побочные продукты, например вода).

Приведём пример реакции полимеризации для получения полиэтилена:



Примером реакции поликонденсации служит превращение углеводов — глюкозы в крахмал:



По происхождению различают природные полимеры, или **биополимеры** (они создаются самой природой, без участия человека), **искусственные** (это химически модифицированные природные полимеры) и **синтетические** полимеры (те, которые получают химическим путём).

Буквально на каждом шагу в повседневной жизни мы сталкиваемся с веществами полимерного строения. Это строительные, отделочные, упаковочные, изоляционные материалы; детали машин и механизмов; одежда, ткани и обувь; декоративные, антикоррозионные и специальные покрытия; резинотехнические изделия, эластомеры и многое другое. При этом сама жизнь немыслима без природных высокомолекулярных веществ — биополимеров, к числу которых относятся белки, нуклеиновые кислоты (ДНК и РНК), полисахариды (крахмал, целлюлоза, гликоген, хитин и др.).

Кратко охарактеризуем наиболее важные группы известных вам полимеров — пластмассы и волокна.

ПЛАСТМАССЫ. К первой группе полимерных материалов относятся **пластмассы**.

Пластмассы — это полимерные материалы, способные при нагревании приобретать заданную форму и сохранять её после охлаждения.

Как правило, пластмасса представляет собой смесь нескольких веществ, а полимер — это лишь одно из них, но самое важное. Именно он связывает все компоненты пластмассы в единое, более или менее однородное целое. Поэтому полимер в составе пластмассы называют **связующим**.

Понятно, что превращать в готовые изделия удобно те пластмассы, которые обратимо твердеют и размягчаются. Такие пластмассы называют **термопластами** или термопластичными полимерами. К ним относятся полиэтилен, полистирол, поливинилхлорид, полиамиды. Если же в процессе формования изделия происходит сшивка макромолекул и полимер, твердея, приобретает пространственную структуру, то подобные пластмассы называют **реактопластами** или **термореактивными полимерами**, — это фенолоформальдегидные, карбамидные и полиэфирные смолы. Обратное в вязкотекучее состояние такой полимер вернуть нельзя.

Кроме связующего полимера в состав пластмасс часто вводят разные добавки — наполнители, красители, а также вещества, повышающие механические свойства, термостойкость и устойчивость к старению. Наполнители не только значительно удешевляют пластмассы, но

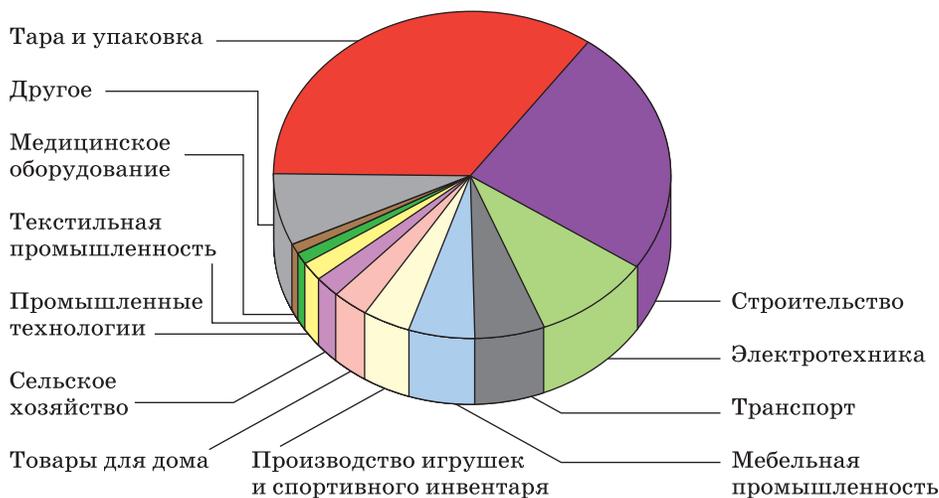


Рис. 47. Примерное соотношение объёмов применения пластмасс в различных областях народного хозяйства

и придают им многие специфические свойства. Так, пластмассы с наполнителем в виде алмазной и карборундовой пыли — это абразивы, т. е. шлифовальный материал. Широкому применению пластмасс способствует их низкая стоимость, лёгкость переработки. По свойствам пластмассы часто не уступают металлам и сплавам, а иногда даже превосходят их.

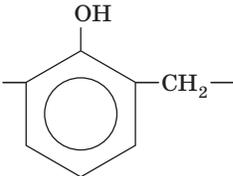
Основные потребители пластмасс — это строительная индустрия, машиностроение, электротехника, транспорт, производство упаковочных материалов, товаров народного потребления (рис. 47). Именно поэтому многими исследователями XX век был назван «пластмассовым» веком.

Понятие «полимеры» часто воспринимается как категория химическая, как нечто придуманное и синтезированное химиками-изобретателями. Однако многие полимеры встречаются в природе, и не в форме брошенных человеком и загрязняющих её отработанных изделий, а в виде натуральных веществ, синтезированных растительными и животными организмами. Так, растущее в Малой Азии дерево ликвидамбар выделяет пахучую смолу, называемую стираксом, которую ещё 3000 лет назад древние египтяне использовали при бальзамировании умерших. Стиракс, так же как и «драконова кровь», выделяемая малайской пальмой ротангом, представляет собой не что иное, как полистирол. Жужелица чёрная (*Abax ater*) в случае опасности выстреливает жидкостью, состоящей в основном из мономерного метилметакрилата, который, полимеризуясь на теле врага, делает его неподвижным.

Основные пластмассы и области их применения приведены в таблице 6.

ТАБЛИЦА 6
ПЛАСТМАССЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Полимер	Структурное звено	Применение
ТЕРМОПЛАСТЫ		
Полиэтилен	$-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$	Упаковочные плёнки, бутылки, оболочки кабелей
Полипропилен	$-\text{CH}_2-\underset{\text{CH}_3}{\text{CH}}-$	Детали автомобилей, трубы
Полистирол	$-\text{CH}_2-\underset{\text{C}_6\text{H}_5}{\text{CH}}-$	Мензурки, корпуса телевизоров, игрушки
Поливинилхлорид	$-\text{CH}_2-\underset{\text{Cl}}{\text{CH}}-$	Трубы, искусственная кожа, хозяйственные сумки
Полиметилметакрилат	$-\text{CH}_2-\underset{\text{COOCH}_3}{\text{C}(\text{CH}_3)}-$	Органическое стекло для светильников, пуленепробиваемых окон, шприцев
Политетрафторэтилен	$-\text{CF}_2-\text{CF}_2-$	Тефлоновое покрытие посуды, электроизоляция
Полиэтилентерефталат	$-\text{O}-(\text{CH}_2)_2-\text{O}-\text{CO}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{CO}-$	Волокна, бутылки
Полиамид	$-\text{NH}-(\text{CH}_2)_5-\text{CO}-$	Волокна
РЕАКТОПЛАСТЫ		
Полиуретан	$-\text{R}-\text{NH}-\text{COO}-\text{R}-\text{OOC}-\text{NH}-$	Детали автомобилей, подошва для обуви, эластомеры, волокна, пенопласты
Силиконы	$\begin{array}{c} \qquad \qquad \text{R} \\ \text{O} \qquad \qquad \\ -\text{O}-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}- \\ \qquad \qquad \\ \text{R} \qquad \qquad \text{O} \end{array}$	Эластомеры, имплантаты, водоотталкивающие покрытия
Ненасыщенные полиэферы	$-\text{OCH}_2\text{CH}_2\text{OCH}=\text{CHCO}-$	Цистерны, корпуса лодок

Полимер	Структурное звено	Применение
Фенолоформальдегидные смолы		Электроизоляторы, рукоятки ножей

ВОЛОКНА. Ко второй группе полимерных материалов относятся **волокна**.

***Волокна** — это полимеры линейного строения, которые пригодны для изготовления текстильных материалов (нитей, жгутов, тканей).*

Как и все полимеры, волокна бывают *природные* (натуральные) и *химические*.

Природные волокна по происхождению бывают растительные, животные и минеральные.

Волокна *растительного происхождения* (рис. 48) делят на волокна, формирующиеся на поверхности семян (хлопок); волокна стеблей растений — лубяные волокна (лён, джут, пенька); волокна оболочек плодов (копра орехов кокосовой пальмы).

Наиболее важное волокно растительного происхождения — хлопковое. Оно обладает хорошими механическими свойствами, износостойкостью, термостабильностью, умеренной гигроскопичностью, применяется в производстве различных тканей и трикотажа, ниток, ваты. Лён используется для изготовления бельевых, платьевых и де-



Рис. 48. Волокна растительного происхождения: *а* — хлопок; *б* — лён; *в* — копра орехов кокосовой пальмы



Рис. 49. Волокна животного происхождения: *а* — шёлк; *б* — шерсть

коративных тканей, лубяные волокна — в производстве тканей, из которых делают тару (мешки), канаты, верёвки.

К волокнам *животного происхождения* (рис. 49) относят шерсть и шёлк. При горении таких волокон можно почувствовать запах жжёного рога.

Натуральная шерсть характеризуется невысокой прочностью, большой эластичностью. Она идёт на изготовление тканей бытового и технического назначения, трикотажа, валяльно-войлочных изделий.

Натуральный шёлк вырабатывают многочисленные гусеницы и пауки. Самое известное насекомое, играющее важную экономическую роль в производстве шёлка, — это гусеница тутового шелкопряда.

Китайцам шёлк был известен более чем за 2500 лет до н. э. Секрет его изготовления охранялся государством, пока в 550 г., по легенде, два персидских монаха не вывезли контрабандой из Китая яйца шелковичных червей для разведения, спрятав их в полые бамбуковые трости. Они привезли их в Константинополь византийскому императору Юстиниану I.

Натуральный шёлк — это очень дорогое волокно. Например, в Японии шёлковое кимоно стоит около 30 000 долларов.

Раньше шёлк окрашивали натуральными красителями, например кошенилью, в различные цвета — пурпурные, алые, лиловые и т. д. Такой шёлк использовали для одежды царствующих особ, священнослужителей (рис. 50) и т. п.

Единицей измерения шёлка является *мумми* — это единица массы (3,75 г), соотносённая с квадратным метром ткани фабричного производства. Квадратный метр большинства сортов шёлка весит 16—22 мумми, однако некоторые китайские сорта весят только 4—8 мумми.

К природным волокнам *минерального происхождения* относятся асбесты, из которых получают технические волокна. После переработки этих волокон в пряжу из неё делают огнезащитные и химически стойкие ткани, фильтры, трубы, шифер и т. п. Ещё асбестовое волокно используют в производстве композитов и картонов. Интересно, что в России асбест был известен давно под названием «горный лён». Из него на фабриках хозяина «Каменного пояса» (так нередко называли Уральские горы) промышленника Демидова делали нескороаемое бельё, которое тот в качестве экзотических презентов дарил знатным людям, в том числе и императрице Екатерине Великой.

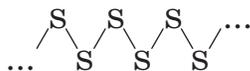
Химические волокна получают из растворов или расплавов волокнообразующих полимеров. Их делят на *искусственные* (вискозное, ацетатное и др.) и *синтетические* (капрон, лавсан, энант, нейлон). Искусственные волокна производят из природных полимеров или продуктов их переработки, главным образом из целлюлозы и её эфиров, а синтетические — из синтетических полимеров.



Рис. 50. А. Ван Дейк. Портрет кардинала Гвидо Бентивольо. 1623

НЕОРГАНИЧЕСКИЕ ПОЛИМЕРЫ. Рассмотрим ещё одну группу полимеров, которую обычно редко связывают с этим понятием. Это *неорганические* полимеры — вещества с атомной кристаллической решёткой.

Неорганический полимер — серу пластическую — нетрудно получить из кристаллической серы, выливая её расплав в холодную воду. В результате получается резиноподобное вещество, строение которого можно отобразить так:



Элементарным звеном в этом полимере являются атомы серы.

Другие неорганические полимеры, имеющие атомную структуру, — это все аллотропные видоизменения углерода (в том числе алмаз и графит), селен и теллур цепочечного строения, красный фосфор, кристаллический кремний. Последний обладает полупроводниковыми свой-



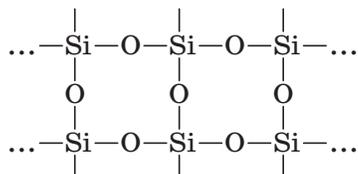
Рис. 51. Солнечная батарея, изготовленная с применением кристаллического кремния



Рис. 52. Агат

ствами и используется для изготовления солнечных батарей (рис. 51).

Мы привели примеры простых веществ, имеющих полимерную атомную структуру. Ещё более разнообразна группа неорганических полимеров — сложных веществ. Это, например, оксид кремния (IV):



Разновидностями этого полимера, который образует основную массу литосферы, являются кварц, кремнезём, горный хрусталь, агат (рис. 52).

Не менее распространён и такой важный для литосферы полимер, как оксид алюминия. Чаще всего оба эти полимера образуют минералы, имеющие общее на-

звание алюмосиликаты. К ним относятся, например, белая глина (каолин), полевые шпаты, слюда.

Почти все минералы и горные породы представляют собой природные полимеры.



Следующий параграф будет посвящён смесям — твёрдым, жидким, газообразным, их классификации, составу, методам очищения основного вещества от примесей.

Теперь вы знаете

- ▶ структуру и классификацию полимеров
- ▶ что такое пластмассы
- ▶ что такое волокна
- ▶ что такое неорганические полимеры

Теперь вы можете

- ▶ объяснить, чем отличаются реакции полимеризации и поликонденсации, и проиллюстрировать эти реакции примерами

- ▶ назвать добавки, которые часто вводят в состав пластмасс, что придаёт пластмассам многие полезные свойства
- ▶ перечислить известные вам природные неорганические полимеры и их разновидности, которые образуют основную массу литосферы Земли
- ▶ сформулировать, что такое полимер, мономер, пластмасса, волокна

☉ Выполните задания

1. Перечислите биополимеры, которые вы знаете, охарактеризуйте их биологическую роль.
2. Дайте определение понятия «пластмассы». Приведите их классификацию, назовите представителей пластмасс, области их применения.
3. Дайте определение понятия «волокна». Приведите классификацию волокон, подкрепите свой ответ примерами волокон разных групп и назовите области их применения.
4. Объясните, что объединяет неорганические полимеры. Какую роль они играют в природе и технике?

☉ Темы для рефератов

1. Синтетические материалы и их роль в современной технике.
2. Полимеры — природные минералы.
3. Полупроводники, их классификация и использование в электронной технике.
4. История шёлка, шёлковое искусство.
5. Русский лён: от Древней Руси до наших дней.

§ 13. Смеси веществ, их состав и способы разделения

1. Объясните, что такое смесь и как её разделить на компоненты.
2. Назовите жидкие, твёрдые и газообразные смеси, которые часто используют в быту.

КЛАССИФИКАЦИЯ СМЕСЕЙ ПО ВИЗУАЛЬНЫМ СВОЙСТВАМ. В повседневной жизни мы редко сталкиваемся с чистыми веществами. В качестве немногочисленных примеров чистых веществ можно привести сахар, перманганат калия (марганцовку), поваренную соль, да и то если в них не внесены различные добавки (например, в поваренную соль добавляют иод для профилактики заболеваний щитовидной железы).

Значительно чаще нас окружают смеси веществ, которые содержат два или более индивидуальных соединения, называемых **компонентами смеси**.

Смеси различаются величиной входящих в их состав частиц. Иногда эти частицы настолько велики, что их можно видеть невооружённым глазом. Например, в смеси речного песка с сахарным вы без труда отличите кристаллики одного и другого. К подобным смесям можно отнести и стиральный порошок, кулинарные смеси для выпечки блинов или тортов, строительные сухие смеси, которые смешивают с водой. Смеси, в которых частички составляющих их веществ видны невооружённым глазом или с помощью оптических приборов, называются **неоднородными** или **гетерогенными**.

Есть смеси, при образовании которых вещества дробятся на мельчайшие частицы (молекулы, ионы), не различимые даже в микроскоп. Как бы вы ни всматривались в воздух, различить составляющие его газы вам не удастся. Так же бесполезно искать «неоднородность» в растворах уксусной кислоты или поваренной соли в воде. Такие смеси называются **однородными** или **гомогенными**.

КЛАССИФИКАЦИЯ СМЕСЕЙ ПО АГРЕГАТНОМУ СОСТОЯНИЮ, ИХ СОСТАВ.

Гомогенные смеси, равно как и химические вещества, по агрегатному состоянию можно разделить на газообразные, жидкие и твёрдые.

Наиболее известными вам природными смесями газов являются воздух, а также природный и попутный нефтяной газы.

Самая распространённая на Земле жидкая смесь, а точнее, раствор, — это вода морей и океанов. В 1 л морской воды в среднем содержится 35 г солей, основная часть которых приходится на хлорид натрия. В отличие от чистой воды морская имеет горько-солёный вкус, замерзает не при 0 °С, а при -1,9 °С.

С жидкими смесями в повседневной жизни мы сталкиваемся постоянно. Шампуни и напитки, микстуры и препараты бытовой химии — всё это смеси веществ. Даже воду из-под крана нельзя считать чистым веществом: в ней содержатся растворённые соли, мельчайшие нерастворимые примеси и микроорганизмы, от которых избавляются хлорированием или озонированием. Однако и в этом случае воду рекомендуется кипятить. Специальные бытовые фильтры помогут сделать воду пригодной для питья и очистить её не только от твёрдых частиц, но и от некоторых растворённых примесей.

Широко распространены и твёрдые смеси. Как мы уже говорили, горные породы представляют собой смесь нескольких веществ. Почва, глина, песок — это тоже смеси. К твёрдым искусственным смесям можно отнести стекло, керамику, сплавы.

Как вам известно из биологии, состав воздуха, который мы вдыхаем, отличается от того, который мы выдыхаем. В выдыхаемом воздухе меньше кислорода, зато больше углекислого газа и водяного пара. Но

«больше—меньше» — понятия относительные. Состав смесей можно выразить количественно, т. е. в цифрах.

Состав газовой смеси выражают **объёмной долей** каждого из её компонентов.

Объёмной долей газа в смеси называется отношение объёма данного газа к общему объёму смеси, выраженное в долях единицы или процентах:

$$\varphi (\text{газа}) = \frac{V (\text{газа})}{V (\text{смеси})} \cdot 100\% .$$

Объёмную долю газа в смеси обозначают буквой φ (фи). Эта величина показывает, какую часть общего объёма смеси занимает конкретный газ. Например, вы знаете, что объёмная доля кислорода в воздухе составляет 21%, азота — 78%. Оставшийся 1% приходится на благородные газы, углекислый газ и другие компоненты воздуха.

Очевидно, что сумма объёмных долей всех газов в смеси равна 100%.

Состав жидких и твёрдых смесей принято выражать величиной, которая называется **массовой долей компонента**.

Массовой долей компонента в смеси называется отношение массы данного вещества к общей массе смеси, выраженное в долях единицы или процентах:

$$w (\text{вещества}) = \frac{m (\text{вещества})}{m (\text{смеси})} \cdot 100\% .$$

РАЗДЕЛЕНИЕ СМЕСЕЙ, ОЧИСТКА ОСНОВНОГО ВЕЩЕСТВА ОТ ПРИМЕСЕЙ. Практически любая таблетка в домашней аптечке — это спрессованная смесь одного или нескольких лекарственных веществ и наполнителя, в качестве которого может выступать гипс, крахмал, глюкоза. Строительные и кулинарные смеси, парфюмерные композиции и краски, удобрения и пластмассы имеют состав, который может быть выражен в массовых долях образующих их компонентов.

Вещества с примесями — это тоже смеси. Только в таких смесях принято выделять главное (основное) вещество и посторонние компоненты, которые называют одним словом — примеси. Чем меньше примесей, тем чище вещество.

В некоторых областях техники использование недостаточно чистых веществ недопустимо. Микросхему компьютера не сделать без особо чистых кристаллов кремния. В атомной энергетике предъявляются повышенные требования к очистке ядерного топлива. Световой сигнал «погаснет» в стекловолоконном кабеле, «наткнувшись» на посторонние примеси.

Чтобы разделить компоненты смеси или очистить основное вещество от примесей, используют различные приёмы и методы.

Как правило, вещества, входящие в состав смеси, сохраняют свои физические свойства: температуру кипения, температуру плавления, растворимость. Поскольку свойства одного вещества отличаются от свойств другого, разделить смеси на отдельные компоненты можно, используя переход из одного агрегатного состояния в другое.

ПЕРЕГОНКА, или ДИСТИЛЛЯЦИЯ. Разделение смесей жидких веществ основано на различии в их температурах кипения. Такой процесс, как вы знаете на примере переработки нефти, называется **ректификацией** или **перегонкой**.

Известно, что любые газы смешиваются в любых соотношениях. А можно ли из смеси газов выделить отдельные компоненты? Задача не из простых. Но учёные предложили очень эффективное решение. Смесь газов можно превратить в жидкость и подвергнуть её перегонке. Например, воздух при сильном охлаждении и сжатии сжижают, а затем позволяют одному за другим выкипать отдельным компонентам, имеющим различные температуры кипения. Первым из жидкого воздуха испаряется азот, у него самая низкая температура кипения ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$). Затем из жидкой смеси кислорода и аргона можно удалить аргон ($-186\text{ }^{\circ}\text{C}$). Остаётся практически чистый кислород (его температура кипения $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$), который вполне годится для газовой сварки, химического производства, а также для медицинских целей.

Перегонку используют не только для разделения смесей на отдельные составляющие, но и для очистки веществ.

Вода из-под крана чиста, прозрачна, не имеет запаха. Но чистое ли это вещество с точки зрения химика? Загляните в чайник: накипь и коричневатый налёт остаются после многократного кипячения в нём воды. А известковый налёт на кранах? И природная, и водопроводная вода — это смесь, раствор твёрдых и газообразных веществ. Конечно, их содержание в воде очень мало, но эти примеси могут привести не только к образованию накипи, но и к более серьёзным последствиям. Не случайно лекарства для инъекций, растворы реактивов, электролит для автомобильного аккумулятора готовят только с использованием очищенной воды, называемой **дистиллированной**.

Откуда взялось такое название? Всё дело в том, что перегонка по-другому называется **дистилляцией**. Сущность дистилляции состоит в том, что смесь нагревают до кипения, образующиеся пары чистого вещества отводят, охлаждают и вновь превращают в жидкость. Но она уже не содержит загрязняющих примесей.

В лабораторных условиях перегонку ведут на установке, изображённой на рисунке 53. Она состоит из перегонной колбы (1). В неё наливают разделяемую смесь, например воду с растворёнными в ней примесями. Жидкость нагревают до кипения. Колба соединена с ни-

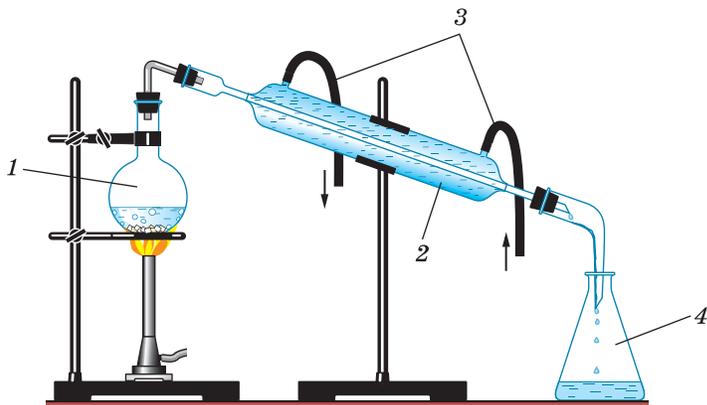


Рис. 53. Лабораторная установка для перегонки жидкостей

сходящим холодильником (2) — устройством для конденсации паров кипящего вещества. С этой целью в рубашку холодильника по резиновым шлангам (3) подаётся холодная вода. Сконденсированные в холодильнике капли чистого вещества попадают в колбу-приёмник (4).

КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ. Как поступить, если требуется выделить из раствора не жидкость, а растворённое в ней твёрдое вещество? Для этого используют **метод кристаллизации**.

Выделить твёрдое вещество из раствора методом кристаллизации можно, выпаривая растворитель. Для этого предназначены специальные фарфоровые чашки (рис. 54).

Такой же способ широко применяется для добычи соли из концентрированных растворов соляных озёр.

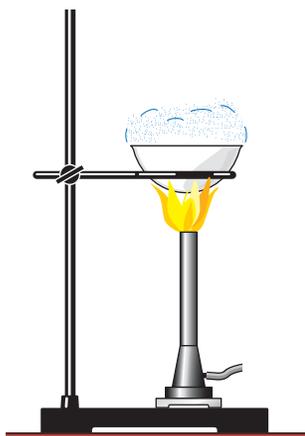


Рис. 54. Выпаривание раствора в фарфоровой чашке



Рис. 55. Добыча соли на соляных озёрах

В природе соляные озёра — это своеобразные гигантские чаши. За счёт испарения воды на берегах таких озёр кристаллизуется огромное количество соли, которая после очистки попадает к нам на стол (рис. 55).

Кругом полынь и привкус хины,
и, крепким натром солона,
цветную от лучей равнину
чуть лижет ровная волна.

Н. Ушаков

При проведении кристаллизации не обязательно испарять растворитель. Известно, что при нагревании растворимость большинства твёрдых веществ в воде увеличивается. Значит, при охлаждении раствора некоторое количество кристаллов выпадет в осадок.

Лабораторный опыт

К 5 г оранжевых кристаллов соли дихромата калия добавьте несколько кристалликов перманганата калия (марганцовки) в качестве примеси. Смесь растворите в 8—10 мл кипящей воды. При охлаждении раствора растворимость дихромата калия резко понижается, вещество выпадает в осадок. Кристаллы очищенного от марганцовки дихромата отделите, промойте несколькими миллилитрами ледяной воды. Если растворить очищенное вещество в воде, то по цвету раствора можно определить, что марганцовки оно не содержит — она осталась в исходном растворе.



Рис. 56. Отстаивание почвы в воде

ОТСТАИВАНИЕ И ФИЛЬТРОВАНИЕ.

Для выделения из жидкостей нерастворимых веществ используют **метод отстаивания**. В его основе лежит различная плотность веществ. Если частички твёрдого вещества достаточно крупные, они быстро оседают на дно, а жидкость становится прозрачной (рис. 56). Её можно осторожно слить с осадка.

Чем меньше размер твёрдых частиц в жидкости, тем дольше будет отстаиваться смесь.

Лабораторный опыт

В стеклянный стакан насыпьте немного порошка для чистки сантехники и залейте его до половины водой. Образуется мутная смесь. Жидкость станет прозрачной только на следующий день. Почему смесь отстаивается так долго? Слейте прозрачную жидкость. Какой способ разделения вы использовали?

Отстаиванием разделяют и смеси двух нерастворимых друг в друге жидкостей. Если в систему смазки автомобиля попала вода, масло придётся слить. Однако через некоторое время смесь расслоится. Вода, имеющая бóльшую плотность, образует нижний слой, сверху отстоится слой масляный. Аналогично отстаивается смесь воды и нефти, воды и растительного масла. Для разделения таких смесей удобно пользоваться особой лабораторной посудой, называемой делительной воронкой (рис. 57).

Лабораторный опыт

В коническую колбу налейте равные объёмы воды и растительного масла. При интенсивном взбалтывании вода и масло разбиваются на мелкие капельки, образуя мутную смесь. Перелейте её в делительную воронку. Через некоторое время смесь расслаивается на более тяжёлый водный слой и масло, всплывающее наверх. Откройте кран делительной воронки и слейте воду.

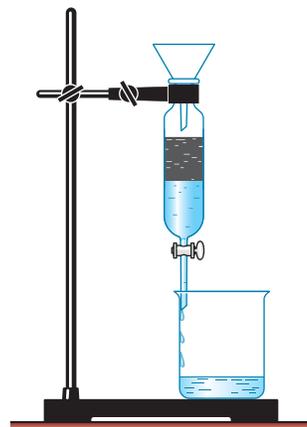


Рис. 57. Разделение двух несмешивающихся жидкостей с помощью делительной воронки

Отделить частицы твёрдого нерастворимого вещества от жидкости можно с помощью **фильтрования**. В лаборатории для этого используется специальная пористая бумага, называемая фильтровальной. Частицы твёрдого вещества не проходят через поры бумаги и остаются на фильтре. Жидкость с растворёнными в ней веществами (её называют фильтратом) свободно просачивается через него и становится совершенно прозрачной.

Фильтрование — очень распространённый процесс и в быту, и в технике, и в природе.

На водоочистительных станциях воду фильтруют через слой чистого песка, на котором задерживаются ил, примеси нефтепродуктов, частицы почвы и глины. Топливо и масло в двигателе автомобиля обязательно проходят через фильтрующие элементы.

Клеточные мембраны, стенки кишечника или желудка — это тоже своеобразные биологические фильтры, поры которых пропускают одни вещества и задерживают другие.

Фильтровать можно не только жидкие смеси. Не раз вы видели людей в марлевых повязках, да и самим, наверное, приходилось ими пользоваться. Проходя через несколько слоёв марли с проложенной между ними ватой, вдыхаемый воздух очищается от частиц пыли, смога, болезнетворных микробов. В промышленности для защиты органов дыхания от пыли используют специальные приспособления —

респираторы. Воздух, попадающий в двигатель автомобиля, тоже очищают от пыли тканевыми или бумажными фильтрами.

Лабораторный опыт

Положите на стол кубик льда из морозильной камеры. На верхнюю грань кубика положите конец нитки и посыпьте кубик солью. Через минуту потяните нитку вверх. Что произошло? Объясните почему.



Далее мы подробно рассмотрим дисперсные системы и растворы, образованные смесями из различных веществ.

Теперь вы знаете

- ▶ какие бывают виды смесей по составу
- ▶ как разделяют смеси
- ▶ как выражают состав газовых, твёрдых и жидких смесей

Теперь вы можете

- ▶ классифицировать смеси по составу и по агрегатному состоянию
- ▶ выразить количественно (в цифрах) состав газовой смеси, а также состав жидких и твёрдых смесей
- ▶ назвать способы разделения газовых, твёрдых и жидких смесей и объяснить, в чём их сущность
- ▶ с помощью лабораторных опытов на практике подтвердить свои теоретические знания о способах разделения смесей

Выполните задания

1. Объясните, корректно ли словосочетание «молекулы воздуха», назовите постоянные, переменные и случайные составные части воздуха. Сделайте предположение об относительном содержании отдельных компонентов в воздухе после грозы, в глубоких ущельях и на горных вершинах, в лесопарковой зоне и вблизи крупного промышленного предприятия.
2. Рассчитайте, какой объём кислорода содержится в 500 м^3 (н. у.) воздуха.
3. В природном газе некоего месторождения объёмные доли предельных углеводородов равны: метан — 85%, этан — 10%, пропан — 4% и бутан — 1%. Вычислите, какой объём каждого из газов может быть получен из 125 л природного газа (н. у.).

4. В состав сухой цементной смеси для штукатурных работ входят 25% цемента и 75% песка. Определите, сколько килограммов каждого компонента нужно взять для приготовления 150 кг такой смеси.
5. Предложите способ разделения следующих смесей:
 - а) железная и медная стружка;
 - б) песка и древесные опилки;
 - в) бензин и вода;
 - г) меловая побелка на мел и воду;
 - д) раствор этилового спирта в воде.

☉ Темы для рефератов

1. Фракционная перегонка жидкого воздуха. 2. Объединённые Арабские Эмираты — жизнь на опреснённой воде. 3. Области применения дистиллированной воды. 4. Суспензии и эмульсии: сравнительная характеристика. 5. Естественные и искусственные аэрозоли.

§ 14. Дисперсные системы

Дайте характеристику таких атмосферных явлений, как радуга, облака, туман, пыльная буря.

КЛАССИФИКАЦИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ. Чистые вещества в природе встречаются очень редко. Смеси различных веществ в различных агрегатных состояниях могут образовывать гетерогенные и гомогенные системы — **дисперсные системы и растворы.**

Дисперсными называют гетерогенные системы, в которых одно вещество в виде очень мелких частиц равномерно распределено в объёме другого.

То вещество, которое присутствует в дисперсной системе в меньшем количестве и распределено в объёме другого вещества, называют **дисперсной фазой** (может состоять из нескольких веществ). Вещество, присутствующее в большем количестве, в объёме которого распределена дисперсная фаза, называют **дисперсионной средой**. Между дисперсионной средой и частицами дисперсной фазы существует поверхность раздела, именно поэтому дисперсные системы называют гетерогенными, т. е. неоднородными.

И дисперсионную среду, и дисперсную фазу могут составлять вещества, находящиеся в различных агрегатных состояниях. В зависимости от сочетания дисперсионной среды и дисперсной фазы можно выделить восемь видов таких систем (табл. 7).

По величине частиц вещества, составляющих дисперсную фазу, дисперсные системы делят на *грубодисперсные* (или взвеси) с размерами частиц более 100 нм и *тонкодисперсные* с размерами частиц от 100 до 1 нм.

Гомогенная система однородна, поверхности раздела между частицами и средой нет, а потому растворы к дисперсным системам не относятся.

Таблица 7

КЛАССИФИКАЦИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ ПО АГРЕГАТНОМУ СОСТОЯНИЮ

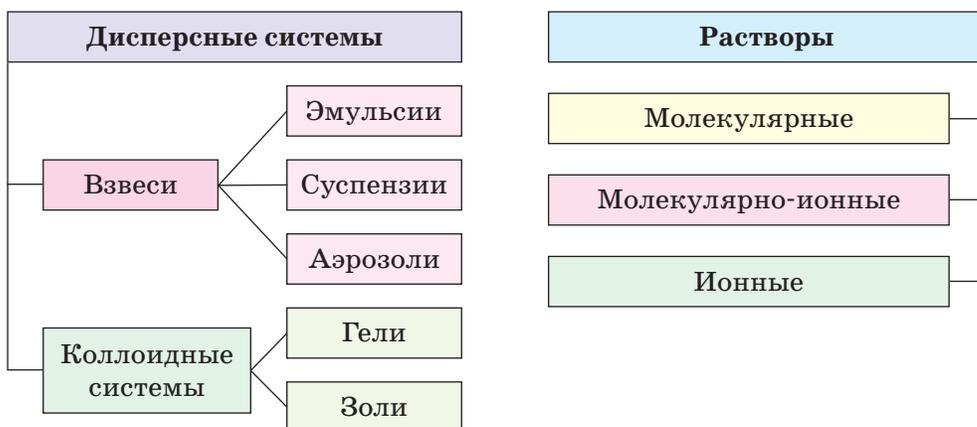
Дисперсионная среда	Дисперсная фаза	Примеры некоторых природных и бытовых дисперсных систем
Газ	Жидкость	Туман; попутный газ с капельками нефти; карбюраторная смесь в двигателях автомобилей (капельки бензина в воздухе); аэрозоли
	Твёрдое вещество	Пыль в воздухе, дым, смог, самум (пыльная и песчаная буря); сухие аэрозоли
Жидкость	Газ	Шипучие напитки; пены
	Жидкость	Эмульсии, жидкие среды организма (плазма крови, лимфа, пищеварительные соки), жидкое содержимое клеток (цитоплазма, кариоплазма)
	Твёрдое вещество	Золи (коллоидные растворы); гели; пасты (кисели, студни, клеи); речной и морской ил, взвешенный в воде; строительные растворы
Твёрдое вещество	Газ	Снежный наст с пузырьками воздуха в нём; почва; текстильные ткани; кирпич и керамика; поролон; пористый шоколад; порошки
	Жидкость	Влажная почва; медицинские и косметические средства (мази, тушь, помада и т. д.)
	Твёрдое вещество	Горные породы, цветные стёкла; некоторые сплавы

Раствором называют гомогенную систему, в которой вещество раздроблено до молекул или ионов размером менее 1 нм.

Знакомство с дисперсными системами и растворами показывает, насколько они важны в хозяйственной деятельности человека, его повседневной жизни и, конечно, в природе.

Судите сами: без нильского ила не было бы великой цивилизации Древнего Египта; без воды, воздуха, горных пород, минералов вообще бы не существовала живая планета — наш общий дом — Земля; без клеток не было бы живых организмов.

Классификация дисперсных систем и растворов в зависимости от размеров частиц показана на схеме.



ГРУБОДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ. Как можно судить по схеме, грубодисперсные системы (или взвеси) делятся на три группы: **эмульсии**, **суспензии** и **аэрозоли**.

Эмульсии — это дисперсные системы с жидкой дисперсионной средой и жидкой дисперсной фазой.

Их также можно разделить на две группы:

- 1) *прямые*, с каплями неполярной жидкости в полярной среде (типа «масло в воде»);
- 2) *обратные* (типа «вода в масле»).

Однако изменение состава эмульсий или внешнее воздействие на неё могут привести к превращению прямой эмульсии в обратную и наоборот. Примерами наиболее известных природных эмульсий являются молоко (прямая эмульсия) и нефть (обратная эмульсия) (рис. 58). Типичная биологическая эмульсия — это капельки жира в лимфе.



Рис. 58. Природные эмульсии:
а — молоко;
б — нефть

Лабораторный опыт

Налейте в тарелку цельное молоко. Капните на поверхность несколько разноцветных капель пищевых красителей. Ватную палочку смочите моющим средством и коснитесь ею центра тарелки. Молоко начинает двигаться, а цвета перемешиваться. Объясните почему.

Из известных в практической деятельности человека эмульсий можно назвать смазочно-охлаждающие жидкости, битумные материалы, пестицидные препараты, лекарственные и косметические средства, пищевые продукты. Например, в медицинской практике широко применяют жировые эмульсии для энергетического обеспечения голодающего или ослабленного организма путём внутривенного вливания. Для получения таких эмульсий используют оливковое, хлопковое или соевое масло.

В химической технологии широко используют *эмульсионную полимеризацию* как основной метод получения каучуков, полистирола, поливинилацетата и др.

Суспензии — это *грубодисперсные системы с твёрдой дисперсной фазой и жидкой дисперсионной средой*.

Обычно частицы дисперсной фазы в суспензии настолько велики, что оседают под действием силы тяжести. Этот процесс называется **седиментация**.

Наиболее распространённые строительные суспензии — это побелка («известковое молоко»), различные строительные взвеси, например цементный раствор, эмалевые краски (рис. 59). К суспензиям относятся также медицинские препараты, например жидкие мази — линименты.



а



б

Рис. 59. Использование суспензий: а — в строительстве; б — в медицине



Рис. 60. Пасты, используемые в быту

Особую группу составляют грубодисперсные системы, в которых концентрация дисперсной фазы относительно высока по сравнению с её небольшой концентрацией в суспензиях. Такие дисперсные системы называют **пастами**. Пасты хорошо вам известны из повседневной жизни, например зубные, косметические, гигиенические и др. (рис. 60).



***Аэрозоли** — это грубодисперсные системы, в которых дисперсионной средой является воздух, а дисперсной фазой могут быть капельки жидкости или частицы твёрдого вещества.*

В качестве примеров аэрозолей можно назвать облака, раду, дезодоранты, лаки для волос в баллончиках, пылевые облака, смерчи (рис. 61).



Рис. 61. Аэрозоли

КОЛЛОИДНЫЕ СИСТЕМЫ. Промежуточное положение между грубодисперсными системами и истинными растворами занимают **коллоидные системы**.

Коллоидные системы широко распространены в природе. Почва, глина, природные воды, многие минералы, в том числе и некоторые драгоценные камни (жемчуг, опал), — всё это коллоидные системы.

Большое значение имеют коллоидные системы для биологии и медицины. В состав любого живого организма входят твёрдые, жидкие и газообразные вещества, находящиеся в сложном взаимоотношении с окружающей средой. Цитоплазма клеток обладает свойствами, характерными как для жидких, так и для студнеобразных веществ. С химической точки зрения организм в це-

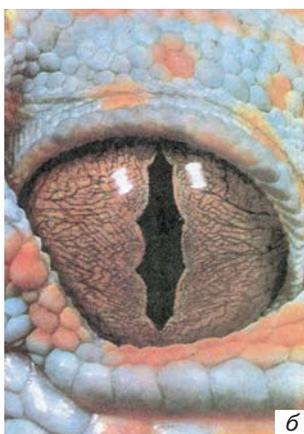


Рис. 62. Коллоидные системы в живых организмах: *а* — хрящи, сухожилия; *б* — стекловидное тело глаза

лом — это сложнейшая совокупность многих коллоидных систем, включающих в себя и жидкие коллоиды, и студни — *гели* (рис. 62).

Биологические жидкости (кровь, плазма, лимфа, спинномозговая жидкость) представляют собой коллоидные системы, в которых такие органические соединения, как белки, холестерин, гликоген и многие другие, находятся в коллоидном состоянии.

Почему же именно коллоидному состоянию природа отдаёт такое предпочтение? Эта особенность связана в первую очередь с тем, что вещество в коллоидном состоянии имеет бóльшую поверхность раздела между фазами, что способствует лучшему протеканию обмена веществ.

Лабораторный опыт

В пластиковый стакан насыпьте столовую ложку крахмала. Постепенно добавляйте тёплую воду и тщательно разотрите смесь ложкой. (Не лейте много воды — смесь должна быть густой.) Столовую ложку полученного коллоидного раствора налейте на ладонь и дотроньтесь до неё пальцем — смесь твердеет. Если вы уберёте палец, смесь снова станет жидкой.

Коллоиды под давлением могут менять своё состояние. В результате давления пальца частички крахмала соединяются друг с другом, и смесь становится твёрдой. Когда давление прекращается, смесь возвращается в первоначальное — жидкое — состояние.

Коллоидные системы делятся на **золи** (коллоидные растворы) и **гели** (студни).

Большинство биологических жидкостей клетки (уже упомянутые цитоплазма, ядерный сок — кариоплазма, содержимое вакуолей) и живого организма в целом (плазма крови, лимфа, тканевая жидкость, пищеварительные соки, гуморальные жидкости и т. д.) являются коллоидными растворами (золями).

***Золи** — это коллоидные системы, в которых частицы дисперсной фазы свободно и независимо друг от друга перемещаются в процессе броуновского движения.*

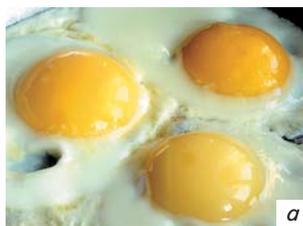
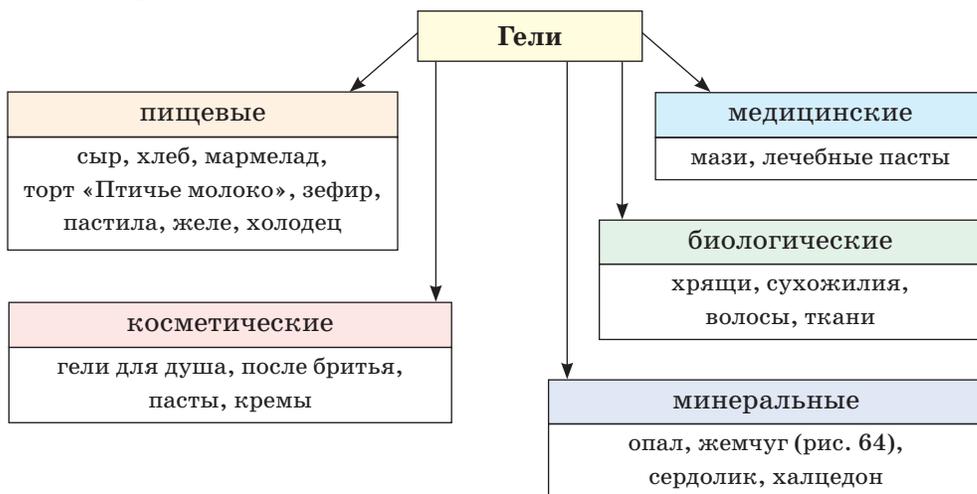


Рис. 63. Коагуляция белка: *а* — при нагревании; *б* — при изменении среды раствора

Для золь характерно явление **коагуляции**, т. е. слипания коллоидных частиц и выпадение их в осадок. При этом коллоидный раствор превращается в суспензию или гель. Некоторые органические коллоиды коагулируют при нагревании (яичный белок, клей) или при изменении кислотно-основной среды (пищеварительные соки) (рис. 63).

Гели — это коллоидные системы, в которых частицы дисперсной фазы образуют пространственную структуру.

Классификация гелей, которые часто встречаются в повседневной жизни, представлена на схеме.



Со временем структура гелей нарушается — из них выделяется жидкость. Происходит **синерезис** — самопроизвольное уменьшение объема геля, сопровождающееся отделением жидкости. Синерезис определяет сроки годности пищевых, медицинских и косметических гелей.

Для теплокровных животных очень важен биологический синерезис, который называется свёртыванием крови. Под действием специфических факторов растворимый белок крови фибриноген превращается в фибрин, сгусток которого и закупоривает ранку. Если этот процесс затруднён, то говорят о возможности заболевания человека



Рис. 64. Генрих фон Анжели. Портрет императрицы Александры Фёдоровны с диадемой, серьгами и бусами из жемчуга. 1896

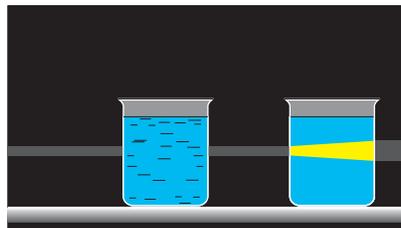


Рис. 65. Эффект Тиндаля

гемофилией. Как вы знаете из курса биологии, носителями гена гемофилии являются женщины, а заболевают ею мужчины. Хорошо известен печальный пример из российской истории: наследник престола царевич Алексей, сын императора Николая II, страдал гемофилией, ген которой передался ему через мать, императрицу Александру Фёдоровну.

По внешнему виду истинные и коллоидные растворы трудно отличить друг от друга. Для этого используют *эффект Тиндаля*, когда при пропускании через коллоидный раствор луча света образуется конус «свещающейся дорожки» (рис. 65). Более крупные, чем в истинном растворе, частицы дисперсной фазы золь отражают своей поверхностью свет, а частицы истинного раствора — нет. Аналогичный эффект, но только для аэрозольного, а не жидкого коллоида, вы можете наблюдать в кинотеатре при прохождении луча света от киноаппарата через запылённый воздух зрительного зала.



В следующем параграфе разговор пойдёт о химических реакциях как процессах образования одних веществ из других, отличающихся по свойствам, о классификации химических реакций.

Теперь вы знаете

- ▶ классификацию дисперсных и коллоидных систем
- ▶ в чём заключается эффект Тиндаля

Теперь вы можете

- ▶ классифицировать дисперсные системы по агрегатному состоянию среды и фазы и по размерам частиц фазы
- ▶ дать характеристику эмульсий, суспензий, аэрозолей, паст и привести примеры

- объяснить, что с точки зрения химии наш организм — это сложнейшая совокупность многих коллоидных систем

☉ Выполните задания

1. Сформулируйте, что такое дисперсная система, дисперсионная среда, дисперсная фаза.
2. Докажите, что природный газ и истинные растворы не являются дисперсными системами.
3. Приведите классификацию гелей по группам и объясните, чем определяется срок годности косметических, медицинских и пищевых гелей.
4. Объясните, что такое коагуляция, синерезис, эмульсионная полимеризация, седиментация.
5. Дайте свою трактовку того факта, что природа в качестве носителя эволюции избрала именно коллоидные системы.
6. Назовите дисперсные системы, о которых идёт речь в этих строках М. Цветаевой:
Отнимите жемчуг — останутся слёзы,
Отнимите золото — останутся листья
Осеннего клёна, отнимите пурпур —
Останется кровь.

☉ Темы для рефератов

1. Латекс и изделия из него.
2. Эстетическая, биологическая и культурная роль коллоидных систем в жизни человека.
3. Коллоидные системы в медицине.
4. Суспензии и эмульсии.
5. Естественные и искусственные аэрозоли.

§ 15. Химические реакции и их классификация

1. Объясните, какие явления называются химическими и чем они отличаются от физических.
2. Предложите признаки, по которым можно классифицировать химические реакции.

КЛАССИФИКАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ ПО РАЗНЫМ ПРИЗНАКАМ.

Химия как часть естествознания изучает не только свойства веществ, но и их превращения, стремится использовать такие процессы для получения соединений с новыми, полезными для человека свойствами.

Химические реакции (химические явления) — это процессы, в результате которых из одних веществ образуются другие, отличающиеся от исходных по составу или строению, а следовательно, и по свойствам.

В основу классификации химических реакций могут быть положены самые разные признаки.

Имеются достаточно большие группы реакций, одни из которых не сопровождаются изменением состава вещества, а другие протекают с изменением состава вещества. Последняя группа химических реакций тоже делится по различным признакам: изменению числа, состава реагентов и продуктов реакции; выделению или поглощению теплоты; изменению степеней окисления атомов, образующих вещества, направлению процесса; использованию катализатора; агрегатному состоянию веществ. Рассмотрим все эти группы.

РЕАКЦИИ БЕЗ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТАВА ВЕЩЕСТВА. В неорганической химии к реакциям, в ходе которых не происходит изменения состава вещества, можно отнести процессы взаимопревращения различных аллотропных модификаций одного химического элемента.

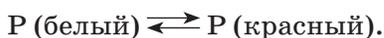
Очень интересно, а в настоящее время и практически значимо, например, превращение одной аллотропной модификации углерода (графита) в другую (алмаз):



Как вы уже знаете, обе аллотропные модификации углерода — и алмаз, и графит — имеют атомную кристаллическую решётку, но разной геометрии: у алмаза она объёмная тетраэдрическая, а у графита — плоскостная.

В 1954 г. учёные из лаборатории знаменитой американской фирмы «Дженерал электрик» получили чёрные кристаллики искусственных алмазов массой 0,05 г при экстремальных условиях — давлении в 100 000 атм и температуре +2600 °С. Такие алмазы стоили в сотни раз дороже природных. Но уже в течение последующих десяти лет были разработаны технологии, позволяющие получить в одной камере за несколько минут 20 и более граммов алмазов. Современное производство искусственных алмазов основано на их получении из графита не только при сверхвысоких, но и при низких давлениях. Такие алмазы сравнительно дешёвы и используются преимущественно в технических целях — в металлургии и машиностроении, радиоэлектронике и приборостроении, геологоразведке и горной промышленности.

В истории химии яркий след оставила аллотропия фосфора. Процесс взаимопревращений его наиболее известных модификаций можно выразить схематически следующим образом:



Фосфор красный имеет атомную кристаллическую решётку, а фосфор белый — молекулярную и соответственно формулу P_4 .

Исторически первым был получен белый фосфор. В 1669 г. немецкий алхимик **Х. Брант** (ок. 1630 — ок. 1710), пытаясь прокаливанием сухого остатка мочи получить так называемый философский камень, получил светящиеся белые кристаллики вещества. Он назвал вещество фосфором, что в переводе с греческого означает «светоносный» (рис. 66). А красный фосфор впервые был получен в 1847 г. в Швейцарии австрийским химиком **А. Шрёттером** (1802—1875) при нагревании белого фосфора при $+500\text{ }^\circ\text{C}$ в атмосфере угарного газа в запаянной стеклянной ампуле.

Ещё один пример. Покорители Южного полюса из экспедиции Р. Скотта не учли взаимопревращения аллотропных модификаций олова:



Белое олово — это мягкий пластичный металл, с которым мы чаще всего и сталкиваемся. Однако при понижении температуры оно может превращаться в серое олово — порошок со всеми свойствами неметаллов. Этот процесс катализируется самим серым оловом: достаточно появиться всего лишь одной его пылинке, как процесс уже невозможно остановить: изделие из белого блестящего металла рассыпается, превращаясь в серый невзрачный порошок. Учёные образно назвали это явление «оловянной чумой». Именно она и стала причиной гибели экспедиции Р. Скотта, пытавшегося в 1912 г. покорить Южный полюс. Дело в том, что железные канистры для хранения продуктов и керосина были запаяны оловом. На сильном морозе оловянный припой рассыпался, и экспедиция осталась без топлива. В органической химии реакции подобного типа относят к **реакциям изомеризации**.

РЕАКЦИИ СОЕДИНЕНИЯ. Все типы реакций, о которых будет рассказано далее, сопровождаются изменением числа, состава реагентов и продуктов реакции. Начнём их изучение с реакции соединения.

Реакции соединения — это такие реакции, в результате которых из двух и более веществ образуется одно сложное вещество.

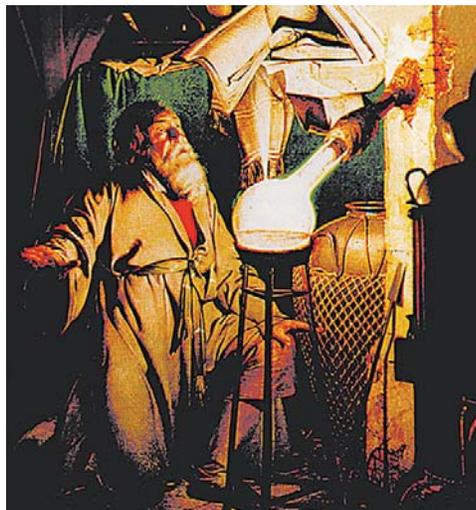


Рис. 66. Дж. Райт. Алхимик, открывающий фосфор. 1771

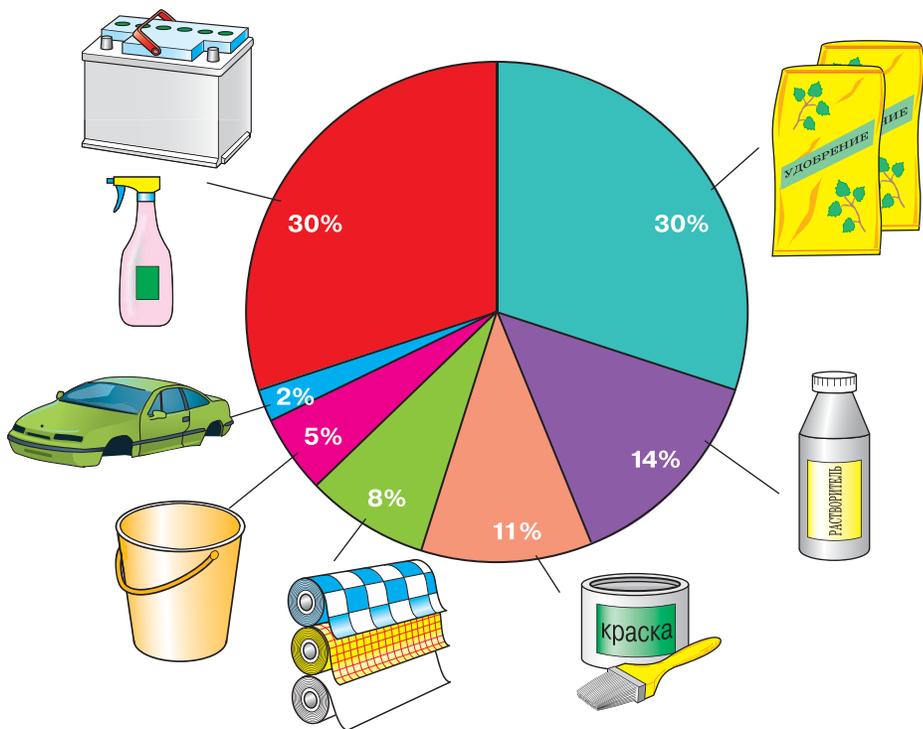


Рис. 67. Применение серной кислоты

Многообразие реакции соединения можно продемонстрировать на примере трёх этапов получения серной кислоты из серы:

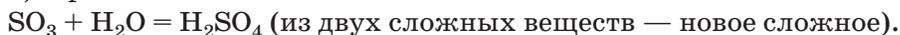
а) оксид серы (IV):



б) оксид серы (VI):



в) серная кислота:



Мы выбрали этот пример не только потому, что он максимально иллюстрирует палитру реакций соединения, но и потому, что продукт

этих реакций — серная кислота, по образному выражению Д. И. Менделеева, является «хлебом химической промышленности» (рис. 67).

РЕАКЦИИ РАЗЛОЖЕНИЯ. Это следующий тип реакций, в ходе которых меняется число, состав реагентов и продуктов реакции.

Реакции разложения — это такие реакции, в результате которых из одного сложного вещества образуется несколько новых веществ.

Всё многообразие таких реакций можно рассмотреть на вариантах получения кислорода лабораторными способами:

а) разложение оксида ртути (II):

$2\text{Hg}_2\text{O} \xrightarrow{t} 2\text{Hg} + \text{O}_2$ (именно этим способом *Дж. Пристли* (1733—1804) в 1774 г. впервые получил кислород);

б) разложение пероксида водорода:



в) разложение перманганата калия:

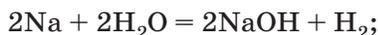


РЕАКЦИИ ЗАМЕЩЕНИЯ. Эти реакции протекают между простыми и сложными веществами.

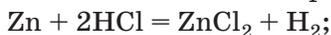
Реакции замещения — это такие реакции, в результате которых атомы простого вещества замещают атомы какого-нибудь элемента в сложном веществе.

Примером таких процессов могут служить реакции, характеризующие, например, свойства металлов:

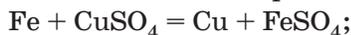
а) взаимодействие щелочных и щёлочноземельных металлов с водой:



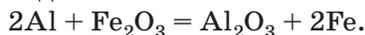
б) взаимодействие металлов с кислотами в растворе:



в) взаимодействие металлов с солями в растворе:



г) металлотермия, т. е. вытеснение более активными металлами менее активных из их оксидов:

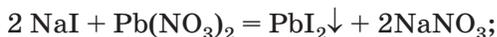


РЕАКЦИИ ОБМЕНА. И наконец, последний тип реакций из рассматриваемой группы. Реакции обмена протекают между двумя сложными веществами.

Реакции обмена — это такие реакции, в результате которых два сложных вещества обмениваются своими составными частями.

Если реакции обмена протекают в растворе, то они возможны только в том случае, когда в результате образуется осадок, газ или мало-диссоциирующее вещество (например, вода):

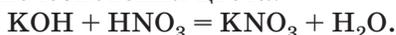
а) красивый золотисто-жёлтый осадок иодида свинца образуется в результате реакции обмена между растворами иодида натрия и нитрата свинца:



б) образование газа можно заметить, если в раствор соляной кислоты прилить раствор карбоната металла:



в) раствор обесцветится, так как произойдёт не просто реакция обмена, а *реакция нейтрализации*, если к раствору щёлочи добавить несколько капель фенолфталеина (окраска станет малиновой), а затем прилить кислоты до исчезновения цвета:

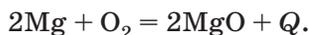


ЭКЗОТЕРМИЧЕСКИЕ И ЭНДОТЕРМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ. Следующая группа химических реакций, протекающих с изменением состава вещества, объединена по признаку выделения и поглощения теплоты, но в неё входят и некоторые типы реакций из предыдущей группы.

Как правило, почти все реакции соединения протекают с выделением теплоты.

Реакции, протекающие с выделением теплоты, называются экзотермическими.

Частным случаем экзотермических реакций являются реакции горения:

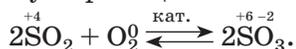


Реакции, протекающие с поглощением теплоты, называются эндотермическими.

За небольшим исключением почти все реакции разложения являются эндотермическими. Например, обжиг известняка — эндотермическая реакция:



Закрепим уже рассмотренные классификации химических реакций, для чего охарактеризуем реакцию синтеза оксида серы (IV):



Эта реакция:

- соединения (из двух веществ образуется одно);
- окислительно-восстановительная (атомы элементов изменили степени окисления);
- обратимая (может протекать в двух противоположных направлениях);
- каталитическая (происходит в присутствии катализатора);
- экзотермическая (происходит с выделением энергии);
- гомогенная (все вещества — газы).



В следующем параграфе речь пойдёт о скорости химических реакций, которая зависит от многих факторов, в том числе и от условий протекания реакций: температуры, присутствия катализатора.

Теперь вы знаете

- ▶ чем отличается химическая реакция от физического явления
- ▶ классификацию химических реакций по разным признакам

Теперь вы можете

- ▶ сравнить свойства и строение аллотропных модификаций фосфора, углерода, олова
- ▶ перечислить химические реакции, которые происходят с изменением числа, состава реагентов и продуктов реакции
- ▶ на примере синтеза аммиака показать многообразие химических реакций

Выполните задания

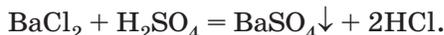
1. Из курса химии основной школы вспомните и назовите признаки и условия протекания химических реакций, проиллюстрируйте ответ примерами.
2. Объясните аллотропию и причины этого явления.
3. Докажите относительность деления простых веществ на металлы и неметаллы на примере олова.
4. Сформулируйте, в чём суть реакций соединения, разложения, замещения, обмена, экзотермических и эндотермических реакций.
5. Запишите уравнения реакций замещения, иллюстрирующих свойства металлов, исходя из их положения в ряду напряжений; перечислите, какие особенности взаимодействия металлов с растворами кислот и солей имеют щелочные металлы.
6. Проанализируйте реакции соединения и разложения, найдите, что общего у них с экзотермическими и эндотермическими реакциями.

1. Фосфор — белый, красный, жёлтый, чёрный. 2. Химия и алхимия. 3. Горение: химические и физические характеристики. 4. Реакция нейтрализации и её применение в медицине, фармакологии, биологии.

§ 16. Скорость химической реакции

1. Вспомните, что такое катализаторы.
2. Объясните, что такое ферменты и для чего они нужны живому организму.

ЧТО ТАКОЕ СКОРОСТЬ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ. Известно, что одни химические реакции протекают за малые доли секунды, другие же — за минуты, часы, дни. Например, практически мгновенно протекают реакции, которые сопровождаются взрывным эффектом: горение пороха, воспламенение горючей смеси в двигателе внутреннего сгорания автомобиля. При сливании растворов хлорида бария и серной кислоты мгновенно образуется белый осадок сульфата бария:



Наоборот, реакция ржавления железа (коррозия) идёт так медленно, что проследить за её результатами можно лишь по истечении длительного времени.

Одна и та же реакция может в одних условиях протекать быстро, а в других — медленно. Например, процесс окисления серебра или меди на воздухе тянется годами, а в присутствии озона проходит чрезвычайно быстро. Чтобы характеризовать быстроту течения химической реакции, пользуются понятием «**скорость химической реакции**», которая обозначается латинской буквой v .

Скорость химической реакции — это изменение концентрации одного из реагирующих веществ или одного из продуктов реакции в единицу времени.

Формула, по которой можно определить скорость реакции:

$$v = \pm \frac{C_2 - C_1}{t_2 - t_1} = \pm \frac{\Delta C}{\Delta t},$$

где C_1 и C_2 — концентрации реагирующих или образующихся веществ соответственно в момент времени t_1 и t_2 .

Если скорость реакции характеризуют изменением концентрации исходных (реагирующих) веществ, то $t_2 > t_1$, а $C_2 < C_1$ (концентрация исходного вещества убывает по мере протекания реакции). Так как скорость реакции имеет положительное значение, перед дробью следует поставить знак «минус». При определении скорости реакции по возрастающей концентрации образующихся веществ величина дроби $\frac{\Delta C}{\Delta t}$ получается положительной.

Знание скорости химических реакций имеет очень большое практическое и научное значение. Например, в химической промышленности от скорости химической реакции зависят размеры и производительность аппаратуры, количество вырабатываемого продукта и в конечном итоге зарплата работников и себестоимость продукции.

Раздел химии, изучающий скорость химических реакций, называется **химической кинетикой**. Зная её законы, человек получает возможность управлять скоростью химических процессов.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СКОРОСТЬ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ. Данное выше определение и соответствующая ему формула скорости химической реакции справедливы для гомогенных реакций. Если реакция гетерогенная, то она может идти только на поверхности раздела реагирующих веществ. В этом случае скорость химической реакции будет определяться *площадью поверхности соприкосновения веществ*.

Зависимость скорости гетерогенной реакции от величины поверхности соприкосновения реагирующих веществ показана на рисунке 68. В химических стаканах налита соляная кислота равного объёма и одинаковой концентрации. На стёклах находится мрамор одинаковой массы: для первого опыта кусочек, для второго — порошок. Реакция во втором случае будет проходить очень бурно и гораздо быстрее, чем в первом случае, так как площадь поверхности частиц порошка значительно больше, чем площадь поверхности кусочка мрамора.

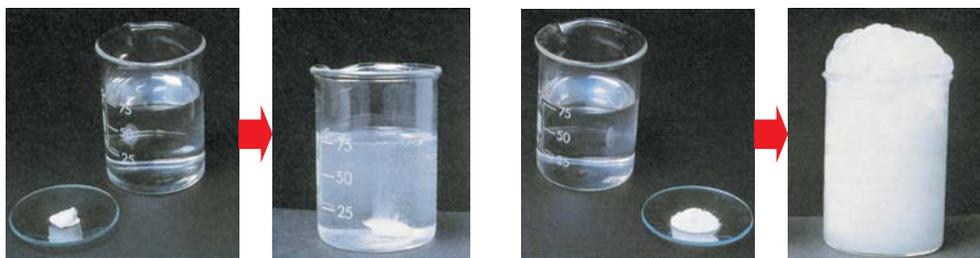


Рис. 68. Зависимость скорости химической реакции от площади соприкосновения реагирующих веществ



Рис. 69. Зависимость скорости химической реакции от природы вещества: калий (а) взаимодействует с водой более энергично, чем литий (б)

Скорость химических реакций зависит от *природы реагирующих веществ*. На рисунке 69 показано взаимодействие двух щелочных металлов — лития и калия с водой. Калий взаимодействует с водой очень бурно и настолько энергично, что даже воспламеняется.

Следующим важнейшим фактором, влияющим на скорость химической реакции, является *концентрация реагирующих веществ*.

Продемонстрируем это на опыте. Налейём в три пробирки раствор тиосульфата натрия. В первую пробирку — 3 мл, во вторую — 2 мл, в третью — 1 мл. Затем добавим во все пробирки воды столько, чтобы уровень растворов тиосульфата в них стал одинаковым, — 5 мл, т. е. в первую дольём 2 мл воды, во вторую — 3 мл, а в третью — 4 мл.

Понятно, что концентрация раствора тиосульфата в первой пробирке будет наибольшей, а в третьей — наименьшей. Теперь быстро добавим в каждую пробирку (начиная с третьей) по 2 мл раствора серной кислоты и проследим, в какой из них раньше всего выпадет осадок серы. Раньше всего он образуется там, где выше концентрация тиосульфата, т. е. в первой пробирке. Это и понятно: ведь для химического взаимодействия серной кислоты и тиосульфата необходимо, чтобы частички (ионы), из которых они состоят, столкнулись, чем больше число столкновений, тем быстрее протекает реакция. А число столкновений тем больше, чем больше концентрация реагирующих веществ, т. е. количества, или массы, этих веществ в единице объёма.

Ещё один важнейший фактор, от которого зависит скорость химической реакции, — *температура*. Эта зависимость определяется **правилом Вант-Гоффа**.

При изменении (повышении или понижении) температуры на каждые 10 °С скорость реакции соответственно изменяется (увеличивается или уменьшается) в 2—4 раза.

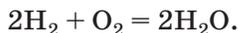


Якоб Хендрик Вант-Гофф

Голландский химик **Я. Х. Вант-Гофф** (1852—1911), сформулировавший это прави-

ло, стал первым лауреатом Нобелевской премии по химии, получив её в 1901 г.

Взаимодействия водорода и кислорода при комнатной температуре почти не происходит — так мала скорость реакции. При $+500\text{ }^{\circ}\text{C}$ эта реакция протекает всего за 50 мин, а при $+700\text{ }^{\circ}\text{C}$ она происходит почти мгновенно:



КАТАЛИЗАТОРЫ. Скорость химической реакции зависит также от присутствия *катализатора*.

Обратимся к опыту. Налей в пробирку немного 3% -го раствора пероксида водорода H_2O_2 и подогреем его. Внесём в пробирку с пероксидом водорода тлеющую лучинку — она не вспыхнет, так как реакция разложения пероксида водорода протекает настолько медленно, что образующегося небольшого количества кислорода недостаточно для качественной реакции на кислород. Теперь насыпем в пробирку немного порошка оксида марганца (IV) MnO_2 (рис. 70, а), начнётся бурное выделение пузырьков газа (рис. 70, б), тлеющая лучинка в пробирке ярко вспыхнет (рис. 70, в). Оксид марганца (IV) увеличивает скорость реакции разложения пероксида водорода во много раз, а сам остаётся по окончании реакции в таком же количестве, в каком был взят изначально.

Вещества, которые изменяют скорость химической реакции, оставаясь к концу её в первоначальном количестве, называются катализаторами.

Оксид марганца (IV) является катализатором химической реакции, которую мы продемонстрировали на опыте.

Процесс изменения скорости химических реакций с помощью катализатора называется **катализом**, а реакции, идущие с участием катализатора, — **каталитическими**. Слово «катализ» в переводе с греческо-

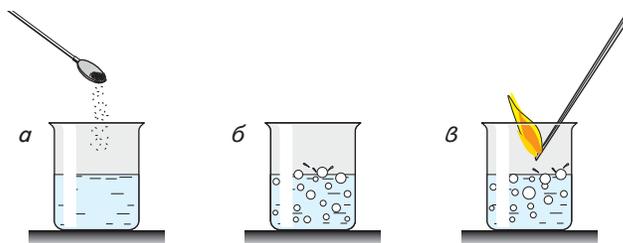


Рис. 70. Разложение пероксида водорода с использованием оксида марганца (IV)



Герман Иванович Гесс

го означает «разрушение», т. е. с помощью катализа происходит как бы разрушение длинного пути, который предстоит пройти веществам, вступившим в реакцию. При добавлении катализаторов в исходную смесь реагентов скорость реакции увеличивается в десятки и сотни раз, но в итоге реакции сами катализаторы остаются неизменными по форме, по цвету, по объёму и массе.

Обыкновенное вещество вода может творить чудеса, если выступает в роли катализатора. Например, при взаимодействии порошков алюминия с серой или алюминия с иодом.

Одним из первых исследователей катализа был русский химик **Г. И. Гесс** (1802—1850). В 1831 г. Гесс опубликовал статью, содержание которой достаточно полно отражено в её названии: «О свойстве весьма мелко раздробленной платины способствовать соединению кислорода с водородом и о плотности платины». Платина применяется химиками редко, так как она катализатор дорогой, но иногда просто незаменимый. Например, с помощью платинового катализатора американским и японским автомобилестроителям удалось добиться почти полного сгорания топлива в двигателях, что, в свою очередь, резко уменьшило содержание вредных примесей в выхлопных газах и сделало чище атмосферу таких больших городов, как Токио и Нью-Йорк.

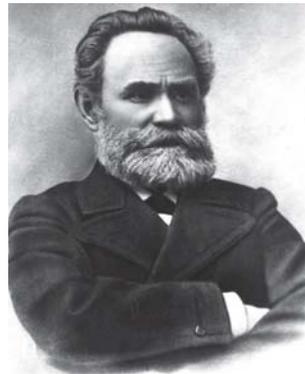
Катализаторы широко используются в химической промышленности, так как позволяют сократить время химических процессов, уменьшить стоимость химической аппаратуры, сделать производство экологически более чистым и экономически выгодным.

ФЕРМЕНТЫ. Ещё в древние времена человек наблюдал действие катализаторов брожения при образовании вина и уксуса из виноградного сока или дрожжей при выпечке хлеба.

Биологические катализаторы белковой природы называются ферментами.

Ферменты, как вы знаете, ускоряют жизненно важные химические реакции в клетках организмов. Действие некоторых из них вы можете наблюдать на опыте. Опустите поочерёдно в пробирку с небольшим количеством пероксида водорода по кусочку сырой моркови, картофеля или мяса. Вы заметите бурное выделение кислорода. Это работает фер-

мент *каталаза*, который содержится почти во всех растительных и животных клетках. Но если в раствор пероксида водорода опустить кусочек варёной моркови или мяса, то выделения кислорода не произойдёт, каталаза при варке разрушилась. Следует отметить и ещё одну особенность ферментов — они действуют в строгом интервале температур и в строго определённой среде. Например, фермент слюны *птиалин* действует на крахмал пищи лучше всего при температуре $+35\text{—}40\text{ }^\circ\text{C}$ в слабощелочной среде. В желудке птиалин уже не действует, так как там среда кислая. Здесь начинается действие уже другого фермента — *пепсина*, который расщепляет белки пищи.



Иван Петрович Павлов

Теперь вам должно быть понятно, почему в инструкциях по применению стиральных порошков, содержащих ферменты (их ещё называют энзимами), рекомендуется строго придерживаться указанного интервала температур.

Клетки живых организмов чётко соблюдают заданную им природой «инструкцию» по использованию ферментов. Под действием ферментов-катализаторов в клетках происходит распад молекул белков, жиров и углеводов, поступивших в организм с пищей, и синтез новых молекул, которые точно соответствуют потребностям данного организма. Не случайно великий русский физиолог **И. П. Павлов** (1849—1936) назвал ферменты «носителями жизни».

В заключение необходимо добавить, что помимо катализаторов, увеличивающих скорость химических реакций, есть вещества, которые, наоборот, эту скорость уменьшают. Они называются **ингибиторами** (от лат. *inhibeo* — сдерживать, останавливать). Значение ингибиторов так же велико, как и катализаторов. Например, коррозию металлов удаётся резко уменьшить именно с помощью ингибиторов.



Следующий параграф будет посвящён обратимым и необратимым химическим реакциям, химическому равновесию и общему закону его смещения в зависимости от внешних факторов.

🕒 Теперь вы знаете

- ▶ определение и формулу скорости химической реакции
- ▶ факторы, влияющие на скорость химической реакции
- ▶ что такое катализаторы, ферменты

Теперь вы можете

- ▶ определить скорость химической реакции по формуле
- ▶ перечислить факторы, которые влияют на скорость химической реакции, и сформулировать правило Вант-Гоффа
- ▶ дать сравнительную характеристику катализаторов и ингибиторов
- ▶ объяснить, почему физиолог И. П. Павлов назвал ферменты «носителями жизни»

Выполните задания

1. Сравните понятия «скорость движения» и «скорость химической реакции» и покажите, что между ними общего.
2. Запишите формулу, по которой рассчитывается химическая реакция, и объясните, в чём заключается роль катализаторов.
3. Назовите ферменты, которые вы знаете из курса биологии, опишите, какой из них за что отвечает в нашем организме.
4. Дайте объяснение тому факту, что при обработке порезов и других ран пероксидом водорода (перекисью водорода) наблюдается бурное вспенивание препарата.
5. Напишите синквейн о понятиях этого параграфа по своему выбору. Напомним, что синквейн — короткое литературное произведение, состоящее из пяти строк, которое пишется по определённому плану:
 - 1-я строка — одно слово: тема синквейна (существительное или местоимение);
 - 2-я строка — два слова: описание темы, её признаки и свойства (прилагательные или причастия, могут быть соединены союзами);
 - 3-я строка — три слова: описание характерных действий темы (глаголы, словосочетания);
 - 4-я строка — четыре-пять слов: фраза или цитата на данную тему (выражает личное отношение автора к данной теме);
 - 5-я строка — одно слово: суть темы, ассоциация, синоним к теме (существительное, описательный оборот).

Темы для рефератов

1. Катализ в биологии.
2. Г. И. Гесс — основатель термохимии.
3. Ингибиторы и область их применения.
4. Практическое использование ферментов в народном хозяйстве, в научных исследованиях и медицине.
5. Энзимы и иммунитет человека.

§ 17. Обратимость химической реакции и химическое равновесие

Приведите примеры из разных учебных предметов обратимых и необратимых процессов.

НЕОБРАТИМЫЕ И ОБРАТИМЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ. Невозможно ничего вернуть, остановить время, бег времени необратим. Своё начало и свой конец имеют и химические процессы. Но они могут протекать как в прямом, так и в обратном направлении.

Что войны, что чума? — конец им виден скорый,
Им приговор почти произнесён.
Но как нам быть с тем ужасом, который
Был бегом времени когда-то наречён?

А. Ахматова



ХИМИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ. Все химические реакции по направлению можно разделить на **необратимые** и **обратимые**.

Необратимыми называются химические реакции, в результате которых исходные вещества практически полностью превращаются в конечные продукты.

Обратимыми называются химические реакции, которые протекают одновременно в двух противоположных направлениях — прямом и обратном.

Среди обратимых реакций, лежащих в основе получения важнейших химических продуктов, можно назвать знакомую вам из курса химии основной школы реакцию синтеза аммиака:



В обратимых процессах скорость прямой реакции вначале максимальна, а затем уменьшается из-за того, что уменьшаются концентрации исходных веществ, расходуемых на образование продуктов реакции. Наоборот, скорость обратной реакции, минимальная вначале, увеличивается по мере увеличения концентрации продуктов реакции.

Наконец наступает такой момент, когда скорости прямой и обратной реакций становятся равными.

*Состояние обратимого процесса, при котором скорость прямой реакции равна скорости обратной реакции, называется **химическим равновесием**.*

Химическое равновесие является динамичным (подвижным), так как при его наступлении реакция не прекращается, неизменными остаются лишь концентрации компонентов, т. е. за единицу времени образуется такое же количество продуктов реакции, какое превращается в исходные вещества. При постоянных температуре и давлении равновесие обратимой реакции может сохраняться неопределённо долгое время.

СМЕЩЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ. На производстве же чаще всего заинтересованы в преимущественном протекании прямой реакции. Например, в получении аммиака, оксида серы (VI), оксида азота (II). Как же вывести систему из состояния равновесия? Как влияет на него изменение внешних условий, при которых протекает тот или иной обратимый химический процесс?

Французский химик **А. Л. Ле Шателье** (1850—1936) в 1885 г. вывел, а немецкий физик **К. Ф. Браун** (1850—1918) в 1887 г. обосновал общий закон смещения химического равновесия в зависимости от внешних факторов, который известен под названием **принципа Ле Шателье**.

Если изменить одно из условий — температуру, давление или концентрацию веществ, — при которых данная система находится в состоянии химического равновесия, то равновесие сместится в направлении, которое препятствует этому изменению.



Анри Луи Ле Шателье

Этот принцип можно было бы назвать принципом «делай наоборот — и добьёшься своего».

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПА ЛЕ ШАТЕЛЬЕ ДЛЯ СМЕЩЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ ПРИ СИНТЕЗЕ АММИАКА. Продемонстрируем смещение равновесия, меняя каждое из условий реакции, опять же на примере реакции синтеза аммиака (рис. 71).

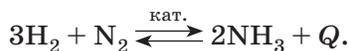




Рис. 71. Схема производства аммиака

Вначале дадим классификационную характеристику синтеза аммиака.

1. Прямая реакция является реакцией соединения, так как из двух простых веществ — азота и водорода — образуется одно сложное вещество — аммиак. Разумеется, обратная реакция по этому признаку относится к реакциям разложения.

2. Так как обе реакции — и прямая, и обратная — протекают в присутствии катализатора (им может служить или универсальная, но дорогая платина, или дешёвый железный катализатор с добавками оксидов калия и алюминия), то обе они являются каталитическими. Следует отметить, что катализатор не влияет на смещение равновесия, он одинаково изменяет скорость и прямой, и обратной реакции, т. е. только ускоряет момент наступления химического равновесия.

3. Прямая реакция протекает с выделением энергии, поэтому относится к экзотермическим реакциям. Значит, логично утверждать, что обратная реакция является эндотермической и протекает с поглощением некоторого количества теплоты.

А теперь рассмотрим, как нужно применить принцип Ле Шателье (принцип противодействия) для смещения равновесия реакции синтеза аммиака.

1. *Изменение равновесных концентраций*, т. е. концентраций веществ после установления равновесия. Чтобы сместить равновесие в сторону образования аммиака (вправо), необходимо увеличить концентрацию исходных веществ — азота и водорода — и уменьшить концентрацию продукта — аммиака (т. е. вывести его из сферы реакции). Понятно, что для смещения равновесия влево нужно поступить наоборот.



Рис. 72. Колонна синтеза аммиака

2. *Изменение давления.* Синтез аммиака из водорода и азота сопровождается уменьшением объёма: из четырёх молей исходных веществ образуется только два моля аммиака. Очевидно, что в закрытом сосуде или аппарате — он называется колонной синтеза (рис. 72) — продукты этой реакции создают меньшее давление, чем создавали исходные вещества. Значит, прямая реакция синтеза аммиака сопровождается понижением давления.

Наоборот, разложение аммиака на водород и азот ведёт к увеличению числа газообразных молекул, а потому и к увеличению давления. При сжатии реакционной смеси равновесие смещается вправо, в сторону образования аммиака, так как этот процесс приводит к уменьшению давления, т. е. противодействует внешнему воздействию. Уменьшение же давления смещает равновесие влево, в сторону разложения аммиака.

Необходимо отметить, что изменение давления смещает равновесие лишь в том случае, если в реакции принимают участие газообразные вещества и она сопровождается изменением их количества. Если же количество газообразных веществ в процессе реакции не изменяется, то увеличение или уменьшение давления не влияет на равновесие такой обратимой реакции.

3. *Изменение температуры.* Мы уже выяснили, что процесс образования аммиака из водорода и азота является экзотермическим, а обратный — разложение аммиака — эндотермическим. При повышении температуры равновесие сместится в направлении реакции

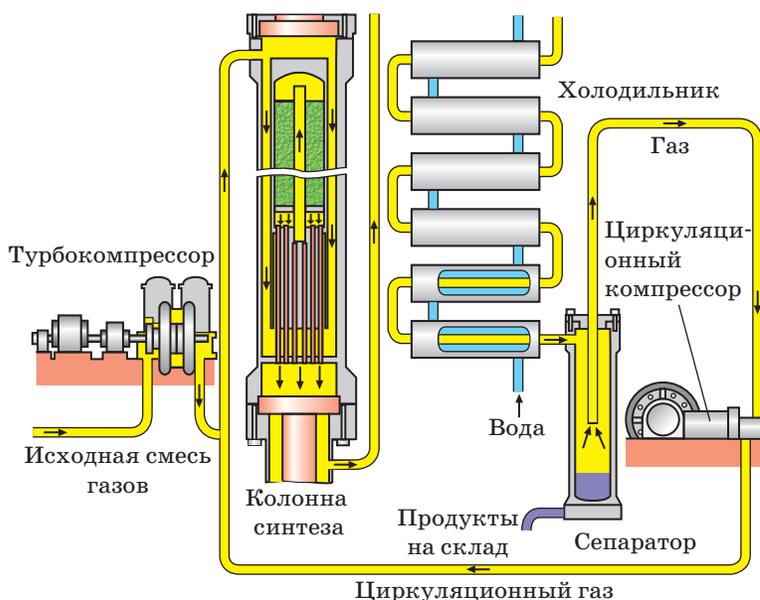


Рис. 73. Схема промышленной установки для синтеза аммиака

разложения аммиака, которая проходит с поглощением энергии и поэтому ослабляется внешним воздействием — повышением температуры. Наоборот, охлаждение реакционной смеси смещает равновесие в сторону синтеза аммиака. Эта реакция идёт с выделением энергии и противодействует охлаждению (рис. 73).

Следовательно, повышение температуры смещает химическое равновесие в сторону эндотермической реакции, а понижение — в сторону экзотермической реакции.

Как можно убедиться на рассмотренных примерах, применение принципа Ле Шателье к обратимым химическим процессам открывает путь к управлению химическими реакциями.



Далее речь пойдёт об окислительно-восстановительных реакциях, о степени окисления и методе её расчёта, о веществах, которые являются окислителями и восстановителями. Также вы узнаете, как под действием электрического тока протекают окислительно-восстановительные реакции электролиза.

Теперь вы знаете

- ▶ что такое необратимые и обратимые химические реакции; химическое равновесие
- ▶ как сместить химическое равновесие
- ▶ как принцип Ле Шателье позволяет сместить равновесие при синтезе аммиака

Теперь вы можете

- ▶ объяснить, какие реакции называются обратимыми, какие необратимыми и что такое химическое равновесие
- ▶ на примере реакции синтеза аммиака продемонстрировать применение принципа Ле Шателье
- ▶ перечислить параметры, которые надо изменить, чтобы вывести систему из состояния равновесия, и объяснить, почему на производстве заинтересованы чаще всего в протекании прямой реакции

Выполните задания

1. Дайте характеристику реакции синтеза оксида азота (II) из азота и кислорода, рассмотрите, как нужно изменить концентрацию веществ, давление и температуру, чтобы сместить равновесие вправо, учитывая, что эта реакция соединения — редкий случай эндотермической реакции этого типа.

2. Для смещения равновесия в реакции синтеза аммиака вправо необходимо понизить температуру. Объясните, почему на производстве этот процесс проводят при достаточно высокой температуре +500—550 °С.
3. Опишите схему производства аммиака и схему промышленной установки для синтеза аммиака.
4. Используя свои знания по биологии и неорганической химии, охарактеризуйте значение аммиака в народном хозяйстве.
5. Приведите примеры обратимых процессов из курсов физики и биологии основной школы. Объясните принцип Ле Шателье.

☉ Темы для рефератов

1. Научная деятельность А. Л. Ле Шателье.
2. Биологическая роль и физиологическое действие аммиака.
3. Экологическая безопасность при производстве, транспортировке и применении аммиака.

§ 18. Окислительно-восстановительные реакции. Электролиз

1. Назовите действия электрического тока.
2. Какая физическая величина является характеристикой электрического тока?

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ. СТЕПЕНЬ ОКИСЛЕНИЯ. Вам уже известна классификация химических реакций по числу и составу реагентов и продуктов, по тепловому эффекту, направлению, участию катализатора. Не менее значима ещё одна классификация, основанная на изменении или сохранении степеней окисления атомов химических элементов, образующих реагенты и продукты реакции. По этому признаку, как вам известно из курса основной школы, различают реакции, протекающие с изменением степени окисления элементов, образующих вещества, участвующие в реакции (или **окислительно-восстановительные**), и реакции, протекающие без изменения степеней окисления.

Вспомним, что понимается под степенью окисления.

Степенью окисления называется условный заряд атомов в химическом соединении, вычисленный исходя из предположения, что это соединение состоит только из простых ионов.

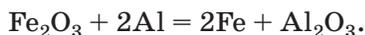
Для того чтобы рассчитать степень окисления, нужно воспользоваться несложными правилами:

- степень окисления кислорода почти всегда равна -2 ;
- степень окисления водорода почти всегда равна $+1$;
- степень окисления металлов всегда положительна и в максимальном значении почти всегда равна номеру группы;
- степень окисления свободных атомов и атомов в простых веществах всегда равна 0 ;
- суммарная степень окисления атомов всех элементов в соединении равна 0 .

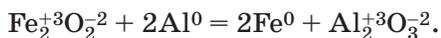
ВОССТАНОВИТЕЛИ И ОКИСЛИТЕЛИ. К окислительно-восстановительным относятся все реакции замещения, а также те реакции соединения и разложения, в которых участвует хотя бы одно простое вещество.

Почему эти реакции так называются? Рассмотрим примеры таких реакций.

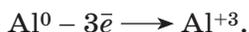
В качестве первой реакции возьмём красивую и важную практически реакцию алюминотермии:



Обозначим степени окисления всех элементов в формулах веществ — реагентов и продуктов этой реакции:

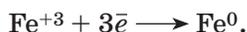


Как видно из уравнения, два элемента — железо и алюминий — изменили свои степени окисления. Что с ними произошло? Алюминий из нейтрального атома превратился в условный ион в степени окисления $+3$, т. е. отдал три электрона:



Элементы или вещества, отдающие электроны, называются восстановителями; в ходе реакции они окисляются.

Условный ион железа в степени окисления $+3$ превратился в нейтральный атом, т. е. получил при этом три электрона:



Элементы или вещества, принимающие электроны, называются окислителями; в ходе реакции они восстанавливаются.

Эти процессы можно представить в виде схемы:



Окислительно-восстановительные процессы сопровождают человека на протяжении всей жизни. Достаточно сказать, что многие биохимические реакции, протекающие в нашем организме, происходят с изменением степеней окисления атомов. Сгорание любого вида топлива в двигателе автомобиля, бойлерной, тепловой электростанции — это тоже окислительно-восстановительные процессы, на схеме это выглядит так:



Наиболее сильными восстановителями являются металлы, водород, оксид углерода (II), углерод, сероводород, аммиак и др.

Наиболее сильными окислителями являются фтор, кислород, озон, галогены, азотная и серная кислоты, перманганат калия и др.

ЭЛЕКТРОЛИЗ. Под действием электрического тока восстанавливаются даже щелочные и щёлочноземельные металлы и окисляются анионы галогенов и кислорода из их соединений до простых веществ.

*Окислительно-восстановительные реакции, протекающие на электродах при прохождении электрического тока через расплав или раствор электролита, называются **электролизом**.*

Знакомство с электролизом мы и начнём с электролиза расплавов электролитов.

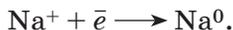
» **Напомним.** Обратите внимание: наши представления об электролитах по сравнению с курсом основной школы расширились. К электролитам относятся не только те вещества, растворы которых проводят электрический ток, но и вещества, способные к этому в расплавах.

ЭЛЕКТРОЛИЗ РАСПЛАВОВ ЭЛЕКТРОЛИТОВ. Если твёрдый электролит расплавить, то он при переходе в жидкое состояние распадается на ионы. При прохождении электрического тока через расплав эти ионы будут двигаться к противоположно заряженным электродам и разряжаться на них.

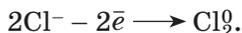
Рассмотрим электролиз расплава хлорида натрия. В расплаве эта соль диссоциирует на ионы:



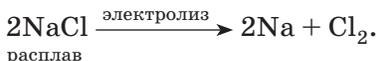
Под действием электрического поля катионы натрия (положительные ионы) направляются к катоду (отрицательному полюсу источника тока) и получают недостающие электроны от катода, т. е. восстанавливаются:



Под действием электрического поля хлорид-анионы (отрицательные ионы) направляются к аноду (положительному полюсу источника тока) и отдают ему свои лишние электроны, т. е. окисляются:



Итоговое уравнение электролиза расплава хлорида натрия выглядит так:



Схематично этот процесс представлен на рисунке 74.

Именно так в промышленности получают щелочные и щёлочноземельные металлы, а также галогены. Впервые электролиз для получения активных металлов использовал английский химик и физик *Г. Дэви* (1778—1829).

Французский химик *Ф. Ф. А. Муассан* (1852—1907) электролизом жидкого фтороводорода впервые получил фтор, который до него безуспешно пытались получить многие химики из разных стран мира. Эти попытки нередко заканчивались трагически. В 1906 г. Муассан был удостоен Нобелевской премии за открытие и получение фтора.

Не только из солей, но также и из расплавов других соединений, например оксидов, могут быть получены активные металлы. Так, некоторые щелочные и щёлочноземельные металлы были получены электролизом рас-

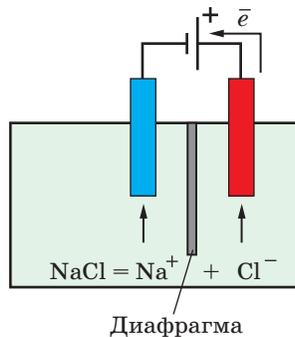


Рис. 74. Схема установки для электролиза расплава хлорида натрия



Гемфри Дэви



Фердинанд Фредерик Анри Муассан

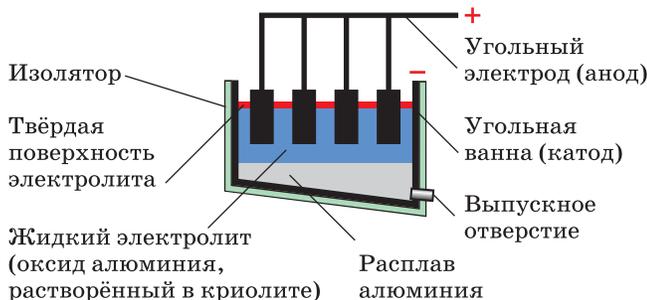


Рис. 75. Схема установки для получения алюминия



Рис. 76. Боксит

плава их соединений уже упоминавшимся нами Г. Дэви. А для производства алюминия путём электролиза (рис. 75) используют обезвоженные бокситы.

Оксид алюминия имеет атомную кристаллическую решётку и является чрезвычайно тугоплавким веществом, поэтому его получение изначально было очень дорогим. На Парижской выставке в 1855 г. алюминий демонстрировался как самый редкий металл. Он был тогда чуть ли не в 10 раз дороже золота. В 1883 г. его выработка во всём мире не достигала и 3 т. Между тем химикам уже тогда было известно, что алюминий — третий по распространённости в земной коре элемент и самый распространённый в ней металл: на его долю приходится более 8% массы земной коры. В 1886 г. американский студент-химик **Ч. Холл** (1863—1914) открыл, что обезвоженные бокситы (или глинозём, оксид алюминия; рис. 76) можно растворить при +950 °С в расплавленном криолите, а затем с помощью электролиза выделить из него алюминий. Удивительно, но в том же году французский металлург **П. Эрру** (1863—1914) разработал тот же метод получения алюминия. Метод Холла—Эрру сделал возможным промышленное получение этого металла.

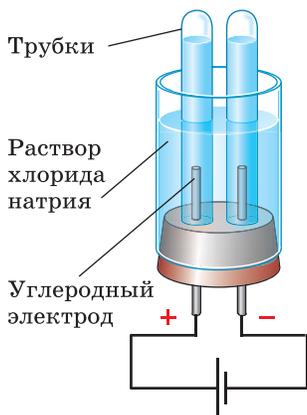


Рис. 77. Схема электролиза раствора хлорида натрия

ЭЛЕКТРОЛИЗ РАСТВОРОВ. Второй тип промышленного электролиза — это электролиз растворов. Отличие его от электролиза расплавов электролитов состоит в том, что в си-



Рис. 78. Хромированный мотоцикл — пример техники гальваностегии

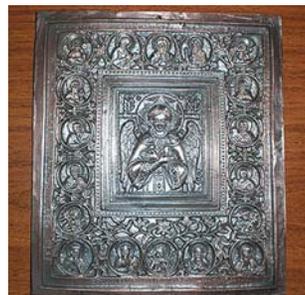
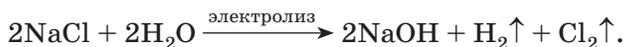


Рис. 79. Икона, выполненная в технике гальванопластики

стеме появляется ещё одно вещество — вода. В большинстве случаев она далеко не безразлична к протеканию электрического тока, т. е. наряду с ионами способна окисляться или восстанавливаться на электродах. Не вдаваясь в подробности протекающих на электродах окислительно-восстановительных реакций, запишем суммарное уравнение электролиза раствора хлорида натрия:



Следовательно, продуктами электролиза раствора хлорида натрия являются водород, хлор и гидроксид натрия (рис. 77).

В промышленности электролиз широко применяется для:

- получения щелочных, щёлочноземельных металлов и алюминия, галогенов, водорода и кислорода;
- нанесения металлических покрытий на поверхность изделий (никелирование, хромирование (рис. 78), цинкование; общее название таких процессов — **гальваностегия**);
- изготовления рельефных металлических копий (рис. 79) (**гальванопластика**);
- очистки цветных металлов от примесей (**рафинирование**).



В следующем параграфе будет рассказано о химических источниках тока, о принципе действия гальванических элементов, о батарейках и аккумуляторах.

Теперь вы знаете

- ▶ как рассчитывают степени окисления элементов по формулам их соединений
- ▶ как протекает электролиз расплавов электролитов
- ▶ как протекает электролиз растворов

☉ Теперь вы можете

- ▶ объяснить, какие реакции называются окислительно-восстановительными, и рассчитать степень окисления элементов
- ▶ написать итоговые уравнения для электролиза расплава хлорида натрия и электролиза раствора хлорида натрия
- ▶ перечислить области применения электролиза в промышленности

☉ Выполните задания

1. Дайте характеристику реакции оксида железа (III) с алюминием по всем возможным признакам классификации реакций.
2. Объясните, почему в азотной кислоте натрий проявляет только восстановительные свойства, а азот — только окислительные.
3. Назовите продукты электролиза расплава хлорида калия, расплава оксида алюминия, раствора бромида натрия.
4. Охарактеризуйте интегрирующую роль алюминиевого производства в мировом экономическом процессе.
5. Назовите предметы домашнего обихода и оборудования квартиры, при изготовлении которых были использованы гальванопластика и гальваностегия.
6. Приведите примеры рафинирования металлов.

☉ Темы для рефератов

1. Жизнь и научная деятельность Г. Дэви.
2. Вклад в науку нобелевского лауреата Ф. Ф. А. Муассана.
3. Алюминиевая промышленность в России.
4. Получение и применение галогенов.

§ 19. Химические источники тока

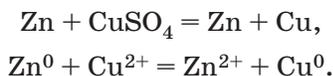
1. Назовите имена выдающихся учёных — основоположников учения об электричестве.
2. Перечислите приборы, аппараты, машины, которые работают на батарейках и аккумуляторах.
3. Объясните, что представляет собой вольтов столб и каков принцип его действия.

ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ, ИХ УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ.

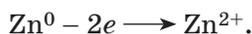
Сложно представить себе жизнь современного человека без гальванических элементов — химических источников тока. Карманный фонарик и наручные часы, переносной радиоприёмник и телевизионный пульт дистанционного управления, аудио- и CD-плеер, лазерная указка и космический корабль — все эти и многие другие приборы и аппараты превращаются в безжизненный и бессмысленный набор деталей без электрического «сердца». Именно источник тока создаёт из хаотического движения электронов стройную гармонию порядка и смысла. Самый современный компьютер, включённый в электрическую сеть через сетевые фильтры, стабилизаторы и источники бесперебойного питания, не обходится без маленькой малозаметной батарейки — гальванического элемента, обеспечивающего сохранность необходимой для «старта» и загрузки системной информации.

Принцип действия гальванического элемента, основа его работы — протекание на электродах окислительно-восстановительной реакции.

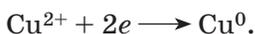
Для того чтобы понять причину возникновения на электродах разности потенциалов, рассмотрим реакцию металлического цинка с раствором сульфата меди (II). Цинк, как более активный металл, вытесняет медь из раствора соли:



Данная реакция является окислительно-восстановительной. Атомы металлического цинка, отдавая по 2 электрона, переходят в раствор в виде катионов Zn^{2+} :



Атомы цинка передают свои электроны катионам меди, в результате чего они восстанавливаются, превращаются в атомы металла:



При внесении цинка в раствор сульфата меди (II) электроны переходят непосредственно от атомов цинка к катионам меди. А что если пространственно отделить процесс окисления цинка от процесса восстановления меди, заставив электроны перебежать от цинка к катионам меди по электрическому проводнику? В этом случае за счёт протекания химической реакции можно получить электрический ток!

Устройство для получения электрического тока за счёт протекания химических реакции называется гальваническим элементом.

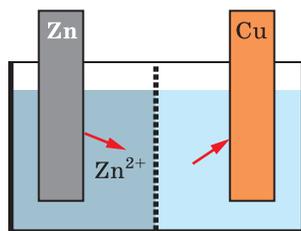


Рис. 80. Схема гальванического элемента Даниэля—Якоби

Своё название такие устройства получили по имени итальянского естествоиспытателя **Л. Гальвани** (1737—1798), впервые наблюдавшего возникновение электрического тока при контакте двух различных металлов.

Один из первых гальванических элементов был создан в 1836 г. английским исследователем Д. Даниэлем и русским учёным **Б. С. Якоби** (1801—1874). Схема элемента Даниэля—Якоби приведена на рисунке 80.

Элемент Даниэля—Якоби представляет собой сосуд, разделённый полупроницаемой мембраной на два отделения. В левом отделении находится раствор соли цинка, в который погружена цинковая пластинка, в правом — раствор соли меди и медная пластинка. Пластинки соединены между собой в электрическую цепь. Катионы цинка, покидая пластинку, переходят в раствор, а их электроны по цепи перемещаются на медную пластинку, на которой происходит восстановление катионов меди из раствора. В элементе возникает электрический ток, вольтметр показывает разность потенциалов, близкую к 1 В.

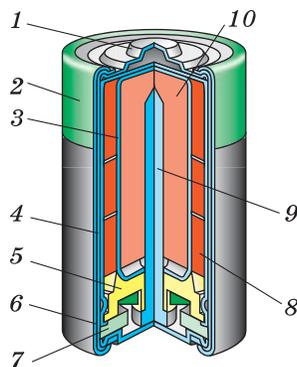
Поистине трудно переоценить значение этого открытия. Невозможно представить себе современную жизнь без гальванических элементов — химических источников тока: от крохотных батареек до огромных аккумуляторов.

Если заменить в гальваническом элементе медную пластинку на серебряную, разность потенциалов в цепи будет больше. Значит, эта величина зависит от природы металлов и вполне может служить количественной характеристикой их активности. Для таких измерений в пару с металлическим электродом в цепь включают так называемый водородный электрод, потенциал которого условно принят за нуль. Таким образом, по величине потенциала на металлическом электроде все металлы располагают в знакомый вам ряд, называемый **электрохимическим рядом напряжений**.

Li K Ca Na Mg Al Mn Zn Fe Ni Sn Pb **H₂** Cu Hg Ag Au

Рис. 81. Устройство сухого щелочного элемента:

1 — катодный колпачок (положительный полюс);
 2 — наружный стальной корпус; 3 — перегородка;
 4 — стальной кожух, по которому электроны движутся от положительного полюса к катоду; 5 — пластиковая прокладка; 6 — изолирующий слой; 7 — изолятор;
 8 — смесь щелочного оксида марганца (IV) (катод) и графитового проводника; 9 — стальной стержень, по которому электроны движутся от анода к отрицательному полюсу; 10 — смесь электролита (хлорида аммония) и цинкового порошка (анод)

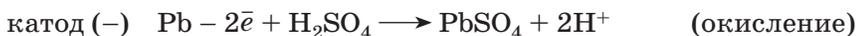


При изготовлении современных портативных гальванических элементов, которые мы привыкли называть *батареями*, для увеличения площади поверхности электродов помещают в виде электропроводного порошка (активной массы), а электролит в виде густой пасты для предотвращения его вытекания. На рисунке 81 показано устройство сухого щелочного элемента.

К сожалению, при замыкании внешней цепи гальванического элемента (например, при включении сотового телефона) на катоде восстанавливается окислитель, и его концентрация в околочатодном пространстве снижается, на аноде окисляется восстановитель, его концентрация также уменьшается. При этом разность потенциалов элемента падает, батарейка разряжается. Нельзя ли восстановить батарейку, продлить её жизнь, заставить работать снова? Можно, если электродные реакции в ней обратимы. В этом случае достаточно пропустить через элемент электрический ток от внешнего источника, восстановить окислившийся на аноде восстановитель, окислить принявший на катоде электроны окислитель. При пропускании «встречного» (подумайте, почему его так называют) тока через химический источник тока разность его потенциалов растёт, он запасает, аккумулирует энергию, или, как говорят, заряжается. Подобные гальванические элементы так и называются — **аккумуляторы**.

Любому автомобилисту известен один из самых распространённых аккумуляторов — свинцовый (рис. 82).

Катод аккумулятора изготовлен из свинца, а анод — из пористой массы оксида свинца (IV), смешанной с сульфатом свинца (II). Электролитом служит раствор серной кислоты. При замыкании внешней электрической цепи (разряде аккумулятора) на его электродах идут процессы восстановления свинца Pb^{+4} и окисления свинца Pb^0 , а концентрация кислоты в электролите снижается.



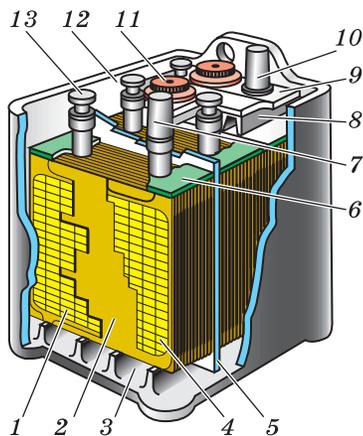
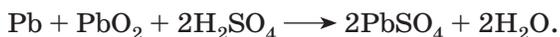


Рис. 82. Устройство свинцового аккумулятора (батарея из трёх элементов): 1 — отрицательная пластина; 2 — сепаратор; 3 — выступы на дне сосуда для установки пластины; 4 — положительная пластина; 5 — сосуд с перегородками (моноблок); 6 — выводной штырь; 7, 10 — клеммы; 8 — уплотнение; 9 — крышка; 11 — пробка; 12 — межэлементное соединение; 13 — мостик

Суммарная окислительно-восстановительная реакция, протекающая при работе свинцового аккумулятора, следующая:



Разность электродных потенциалов, т. е. ЭДС гальванического элемента, составляет примерно 2 В. Поэтому в автомобильном аккумуляторе для достижения напряжения 12 В последовательно соединены шесть одинаковых элементов.

Поскольку при разрядке аккумулятора концентрация серной кислоты понижается, плотность электролита также снижается.

При пропускании электрического тока от внешнего источника (например, генератора автомобиля) в противоположном направлении электрод, бывший анодом, начинает восстанавливать ионы свинца, а электрод, бывший катодом, окисляет эти ионы. Происходит зарядка аккумулятора, при которой на электродах протекают обратные процессы, а концентрация кислоты в электролите растёт.

Таким образом, работа аккумулятора наглядно демонстрирует превращение энергии электрического тока во внутреннюю энергию вещества — энергию химических связей и обратный процесс — получение электрической энергии в ходе электродных реакций.

В современных электронных приборах широко используются миниатюрные литиевые и металлгидридные аккумуляторы.

ГАЛЬВАНИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРОФОРЕЗ. Приведённые выше примеры — далеко не полный перечень возможностей использования электрохимических процессов. В медицине широко применяются такие методы лечебного воздействия, как *гальванизация* и *электрофорез*.

Гальванизация — действие постоянным током небольшой силы и напряжения, оказывает болеутоляющее действие, улучшает периферическое кровообращение, способствует восстановлению поражённых тканей, стимулирует регуляторную функцию нервной системы. Гальванизация показана при поражениях периферической нервной системы (радикулиты, невриты, невралгии), головного и спинного

мозга, невротических состояниях, воспалениях суставов (артритах) и т. п.

Лечебный электрофорез (направленное движение коллоидных частиц или ионов лекарства) — комбинированное лечебное действие на организм постоянного электрического тока и вводимых им через кожу или слизистые оболочки компонентов лекарственных препаратов. При электрофорезе повышается чувствительность рецепторов к лекарству, достигается локализация препарата в нужной области организма и увеличивается продолжительность его терапевтического действия, что позволяет снизить дозу лекарства без снижения лечебного действия. Электрофорез применяют при лечении центральной и периферической нервной системы, гинекологических заболеваний и болезней опорно-двигательного аппарата. Более подробно об использовании электрохимических процессов в медицине вы узнаете из следующей главы учебника. Кроме медицины, электрофорез используют для выделения каучука из латекса, очистки воды, анализа и разделения белков, аминокислот, витаминов, бактериальных клеток и вирусов.



На этом мы заканчиваем главу I, посвящённую атомам, веществам, реакциям. Вам остаётся только подкрепить изученный материал практическими работами. Следующая глава будет посвящена изучению человека, строению его тела, отдельных органов и систем органов, его здоровью.

Теперь вы знаете

- ▶ как устроены гальванические элементы, их принцип действия
- ▶ что такое гальванизация и электрофорез

Теперь вы можете

- ▶ описать принцип действия гальванического элемента и его устройство
- ▶ продемонстрировать на примере работы аккумулятора, как энергия электрического тока превращается во внутреннюю энергию вещества
- ▶ охарактеризовать такие методы лечения, как гальванизация и электрофорез

Выполните задания

1. На примере реакции цинка с раствором сульфата меди объясните, как на электродах возникает разность потенциалов.
2. Сформулируйте, как эффективность работы гальванического элемента зависит от положения его металлов в электрохимическом ряду напряжений.

3. Расскажите об устройстве сухого щелочного гальванического элемента.
4. Рассмотрите устройство и работу свинцового аккумулятора, ответьте, применим ли принцип Ле Шателье к его работе.
5. Проведите сравнительный анализ процессов гальванизации и электрофореза.

☉ Темы для рефератов

1. Аккумуляторы в современных приборах (мобильных телефонах, ноутбуках и т. п.). 2. Батарейки — их настоящее и будущее. 3. Научная деятельность Л. Гальвани — отца электрофизиологии. 4. Русский физик Б. С. Якоби, его открытия и изобретения.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

1 Изучение фотографий треков заряженных частиц

Цель работы: анализировать и объяснять характер движения заряженных частиц.

Источники информации: фотографии треков заряженных частиц.

Ход работы

Рассмотрите фотографию трека электрона и ответьте на следующие вопросы.

- 1) В каком поле — электрическом или магнитном — движется электрон?
 - 2) Почему трек электрона имеет форму спирали, а не прямой линии или окружности?
 - 3) Почему радиус траектории движения электрона уменьшается?
 - 4) Как можно по треку частицы определить знак её заряда?
 - 5) Как можно по треку частицы определить её массу?
- Сделайте вывод о причинах и характере движения электронов.

2 Получение, собирание и распознавание газов

Цель работы: получить, собрать и распознать водород, кислород, углекислый газ, аммиак и этилен.

Оборудование и реактивы: пробирки, спиртовки, спички, лучинки, шпатели, стеклянные трубочки, лакмусовые бумажки, держатели,

приборы для получения газов, штативы. Гранулы цинка, оксид марганца (IV), кусочки мрамора, вода, гранулы или кусочки полиэтилена, растворы: соляной кислоты, пероксида водорода, уксусной кислоты, известковой воды, хлорида аммония, щёлочи, перманганата калия (подкисленный).

Ход работы

1. Получение, сборание и распознавание водорода

В пробирку поместите две гранулы цинка и прилейте в неё 1—2 мл соляной кислоты. Что наблюдаете? Запишите уравнение реакции.

Накройте пробирку пробиркой большего диаметра, расположив её немного ниже краёв меньшей пробирки. Через 1—2 мин поднимите большую пробирку вверх и, не переворачивая её, поднесите к пламени спиртовки. Что наблюдаете? Что можно сказать о чистоте собранного вами водорода? Почему водород собирали в перевернутую пробирку?

2. Получение, сборание и распознавание кислорода

В пробирку объёмом 20 мл прилейте 5—7 мл раствора пероксида водорода. Подготовьте тлеющую лучинку (подожгите её и, когда она загорится, взмахами руки погасите). Поднесите к пробирке с пероксидом водорода, куда предварительно насыпьте немного (на кончике шпателя) оксида марганца (IV). Что наблюдаете? Запишите уравнение реакции.

3. Получение, сборание и распознавание углекислого газа

В пробирку объёмом 20 мл поместите кусочек мрамора и прилейте раствор уксусной кислоты. Что наблюдаете? Через 1—2 мин внесите в верхнюю часть пробирки горящую лучинку. Что наблюдаете? Запишите уравнение реакции в молекулярной и ионной формах.

В пробирку налейте 1—2 мл прозрачного раствора известковой воды. Используя чистую стеклянную трубочку, осторожно продувайте через раствор выдыхаемый вами воздух. Что наблюдаете? Запишите уравнение реакции в молекулярной и ионной формах.

4. Получение, сборание и распознавание аммиака

В пробирку прилейте 1—2 мл раствора хлорида аммония, а затем такой же объём раствора щёлочи. Закрепите пробирку в держателе и осторожно нагрейте на пламени горелки. Что наблюдаете? Запишите уравнение реакции в молекулярной и ионной формах.

Поднесите к отверстию пробирки влажную красную лакмусовую бумажку. Что наблюдаете? Осторожно понюхайте выделяющийся газ. Что ощущаете?

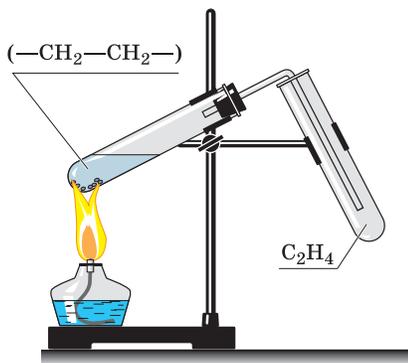


Рис. 83. Прибор для получения этилена деполимеризацией полиэтилена

5. Получение, сбор и распознавание этилена

Соберите прибор для получения газов. Проверьте его на герметичность. В пробирку поместите несколько гранул или кусочков полиэтилена. Закройте пробкой с газоотводной трубкой и закрепите прибор в лапке штатива, как показано на рисунке 83. Нагрейте содержимое пробирки. Что наблюдаете? Пропустите полученный газ через подкисленный раствор перманганата калия. Что наблюдаете? Запишите уравнения проделанных реакций.

3 Изучение химических реакций

Цель работы: закрепить на практике сведения о классификации химических реакций и факторах, от которых зависит скорость их протекания.

Оборудование и реактивы: пробирки, спиртовки, пробиркодержатели, химические стаканы, мерная посуда. Растворы сульфата меди (II), соляной, серной и уксусной кислот, оксид меди (II), канцелярская кнопка или скрепка, гранулы цинка и кусочки железа приблизительно одинакового размера, мрамор (в порошке и крошке).

Ход работы

1. Налейте в пробирку 2 мл раствора сульфата меди (II) и опустите в него канцелярскую кнопку или скрепку. Что наблюдаете? Запишите уравнения реакции в молекулярной и ионной формах. Рассмотрите окислительно-восстановительные процессы. На основе молекулярного уравнения отнесите эту реакцию к той или иной группе реакций на основании следующих признаков:

- по числу и составу реагирующих и образующихся веществ (как вы наверняка знаете, по этому признаку различают реакции соединения, разложения, замещения и обмена, в том числе и реакции нейтрализации);
- по направлению (напомним, что по этому признаку реакции делятся на обратимые и необратимые);
- по тепловому эффекту (различают реакции эндо- и экзотермические, в том числе и реакции горения);

— по изменению степеней окисления элементов, образующих вещества, участвующие в реакции (окислительно-восстановительные и без изменения степеней окисления);

— по агрегатному состоянию реагирующих веществ (гомогенные и гетерогенные);

— по участию катализатора (некаталитические и каталитические, в том числе и ферментативные).

2. Налейте в две пробирки по 1—2 мл соляной кислоты и опустите в первую — гранулу цинка, во вторую — кусочек железа такого же размера. Природа какого реагента оказывает влияние на скорость взаимодействия кислоты с металлом? Почему? Запишите уравнения реакций в молекулярной и ионной формах. Рассмотрите их с позиции окисления-восстановления.

3. Опустите в две пробирки по одинаковой грануле цинка и прилейте к ним растворы кислот одинаковой концентрации: в первую — соляной кислоты, во вторую — уксусной. Природа какого реагента оказывает влияние на скорость взаимодействия кислоты с металлом? Почему? Запишите уравнения реакций в молекулярной и ионной формах. Рассмотрите их с позиции окисления-восстановления.

4. Прилейте в первую пробирку 3 мл соляной кислоты, во вторую — 2 мл, в третью — 3 мл. Затем добавьте во вторую пробирку 1 мл воды, а в третью — 2 мл. Следовательно, в пробирках будут одинаковые объёмы раствора кислоты, которые, однако, будут отличаться концентрацией. В какой из пробирок концентрация выше, а в какой — ниже? Опустите в каждую пробирку по грануле цинка. В какой из пробирок скорость выделения водорода выше? Почему?

5. Прилейте в две пробирки по 1 мл соляной кислоты и опустите: в первую пробирку — гранулу цинка (или кусочек мрамора), во вторую — порошок цинка (или мраморную крошку). В какой из пробирок скорость выделения газа выше? Почему?

6. В две пробирки насыпьте с помощью шпателя немного чёрного порошка оксида меди (II) и прилейте в каждую по 3—4 мл раствора серной кислоты. Одну пробирку опустите в стакан с горячей водой, другую нагрейте с помощью пробиркодержателя на пламени спиртовки. Что наблюдаете?

Объясните результат наблюдений. Запишите уравнения реакций в молекулярной и ионной формах.

4 Сборка гальванического элемента и испытание его действия

Цель работы: изготовить простейшую модель гальванического элемента и исследовать зависимость напряжения на его выводах от материала электродов и силы тока в цепи.

Оборудование: два медных, цинковый и графитовый электроды, миллиамперметр, вольтметр, ключ, соединительные провода, стакан с раствором поваренной соли (3 г NaCl на 100 мл H₂O).

Ход работы

Одним из наиболее простых гальванических элементов является элемент Вольта. Он состоит из медной и цинковой пластин, называемых **электродами** элемента, погружённых в слабый раствор серной кислоты. Медь при этом заряжается положительно, а цинк — отрицательно. Положительный электрод принято называть анодом, а отрицательный — катодом.

1. Соберите гальванический элемент, используя стакан с раствором поваренной соли в воде, цинковый и медный электроды. Затем к цепи присоедините ключ и вольтметр. Ключ до начала наблюдений размыкают. Обратите внимание на полярность подключения вольтметра. Его гнездо, помеченное знаком «+», должно соединяться через ключ с медным электродом.

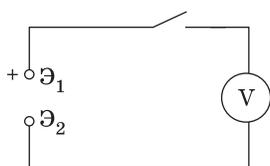


Рис. 84

Принципиальная схема собранной вами установки показана на рисунке 84.

После того как цепь собрана, замкните ключ, определите и запишите показание вольтметра.

2. Исследуйте зависимость напряжения на электродах от материала, из которого они изготовлены.

Для этого повторите опыт (см. п. 1), заменив один медный электрод графитовым. Для его изготовления используется кусочек карандашного грифеля и провод с оголёнными концами. Один конец прикручивают к грифелю, а второй используется для подключения в цепь.

Опыт повторяют ещё несколько раз, используя электроды в различных сочетаниях. Для наглядности результаты измерений заносят в таблицу.

№ опыта	Электроды	Напряжение на электродах, В
1	Графит — медь	
2	Графит — цинк	
3	Медь — цинк	
4	Медь — медь	

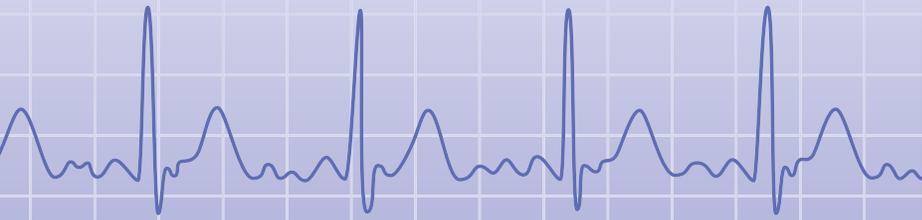
Сделайте вывод, в каком случае наблюдается наибольшее значение напряжения.

глава



Человек и его здоровье





§ 20. Систематическое положение человека в мире животных

1. Объясните, что изучает наука палеонтология, приведите примеры вымерших организмов на Земле.
2. Дайте определение биосферы как оболочки Земли.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЧЕЛОВЕКА. ПРИЗНАКИ СХОДСТВА И РАЗЛИЧИЯ ЧЕЛОВЕКА И ОБЕЗЬЯНЫ. Создатель первой научной классификации растений и животных **К. Линней** (1707—1778) с изумлением констатировал: «До чего же похож на человека зверь гнусный — обезьяна!» — и вынужден был отнести человека и обезьян в одну систематическую группу.

Давайте повторим основные систематические (таксонометрические) группы, принятые в биологии, и вспомним важнейшие признаки, характеризующие каждую такую группу применительно к человеку.

Человек принадлежит к *типу Хордовые*, так как у его эмбриона (рис. 85) в процессе развития появляются хорда, жаберные щели, нервная и пищеварительная трубки.

К *подтипу Черепные* человека позволяет отнести формирование позвоночного столба и скелета головы — черепа (рис. 86), положение сердца на брюшной стороне тела, наличие двух пар конечностей.

К *классу Млекопитающие* человек относится в силу наличия у него теплокровности, пары молочных желёз, волосяного покрова,



Рис. 85. Стадии развития эмбриона человека



Рис. 86. Скелет человека

дифференциации зубов, диафрагмы (мышечной грудобрюшной перегородки) и т. д.

Принадлежность человека к *подклассу Плацентарные*, очевидно, определяют развитие плода внутри матери и его питание через плаценту.

Человек является представителем *отряда Приматы*, к которому принадлежат полуобезьяны (лемуры, долгопяты) и обезьяны. Подобно им, человек имеет пятипалые конечности хватательного типа с ногтями, крупный головной мозг с развитыми большими полушариями, цветное бинокулярное зрение.

Принадлежность человека к *семейству Гоминид* определяют данные сравнительной анатомии, молекулярной биологии, физиологии, патологии и др. Наиболее близок человек к африканским человекообразным обезьянам (горилле и особенно шимпанзе). И человек, и эти обезьяны (рис. 87) имеют крупный головной мозг с развитыми бороздами и извилинами, похожее строение внутренних органов (почек, лёгких и т. д.), аппендикс, четыре группы крови и сходные иммунные свойства, идентичный обмен веществ и энергии (только человек и близкие к нему обезьяны выделяют мочевую кислоту), близкие сроки беременности, наличие одинаковых паразитов (например, вшей) и болезней (сифилиса, проказы). Методы иммунологии позволили выявить сходство белков крови человека и высших человекообразных обезьян: последовательность аминокислот в гемоглобине крови человека и шимпанзе совпадает полностью, а вот с гемоглобином крови гориллы имеют два различия, что свидетельствует о более далёком родстве человека и гориллы.

Похожи и молекулярно-генетические характеристики человека (46 хромосом) и близких к нему обезьян (48 хромосом). Доказано, что у человека одна хромосома из второй пары образовалась в результате слияния двух хромосом шимпанзе. Если взять половинку двойной спирали ДНК человека и соединить её со второй половинкой ДНК обезьяны, то между двумя такими цепями комплементарно образуются водородные связи. Они не будут возникать там, где нуклеотидные последовательности в молекуле ДНК различаются. Было установлено,



Рис. 87. Человекообразные обезьяны

что наибольшим генетическим родством с человеком обладает карликовый шимпанзе бонобо (99%), а наименьшим — гиббон (48%).

Линия человека отделилась от общей с обезьянами не ранее 10 и не позднее 6 млн лет назад. Первые достоверные представители рода *Homo*, Человек, появились около 2 млн лет назад, а современный человек — не позднее 40 тыс. лет назад. Все современные люди принадлежат к одному виду.

Родовое и видовое название человека — *Homo sapiens*, или **Человек разумный**, — показывает, что, несмотря на целый ряд сходств с обезьянами, у человека имеются и значительные отличия, связанные прежде всего с прямохождением, развитием головного мозга и социальным образом жизни.

ПРЯМОХОЖДЕНИЕ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА СКЕЛЕТ ЧЕЛОВЕКА. В морфологическом плане эти отличия относятся, в первую очередь, к скелету. Сколько же костей насчитывает скелет человека? Герой романа Л. Фейхтвангера «Иудейская война» по имени Иосиф подчёркивал: «Наши женщины воспитываются не для молитв... Они обязаны соблюдать запреты, но не повеления. У нас есть триста шестьдесят пять повелений, по числу дней в году, и двести сорок восемь запретов, по числу костей в человеке».

В современной анатомии указывают неопределённое число костей — более 200 или в среднем 208. Количество костей у разных людей действительно варьируется. Связано это с индивидуальной изменчивостью, а также с наличием или отсутствием маленьких, напоминающих семена кунжута сесамовидных косточек, расположенных в толще сухожилий и обычно лежащих на поверхности других костей. Одну такую косточку, но большую и постоянную знает каждый — это надколенник, или коленная чашечка. Различается и число позвонков — 33 или 34. Такой элемент неопределённости возник из-за колеблющегося количества позвонков, в первую очередь, в копчике — 4 или 5.

В отличие от обезьян, у человека наблюдается S-образный позвоночник с отчётливыми шейным и позвоночным изгибами. Это связано с прямохождением.

На каждый элемент позвоночного столба падает определённая нагрузка. Наибольшая величина её приходится на поясничный отдел, поэтому там и позвонки наиболее массивные, и амортизационный изгиб чётко выражен. А помогают смягчать толчки при прямохождении

Искривился позвоночник, как оглоблей ударенный,
Но учёному ли думать о пустяковом изъяне?
Он знает отлично написанное у Дарвина,
Что мы — лишь потомки обезьяньи.

В. В. Маяковский



специальные хрящевые диски между позвонками, которые не только частично поглощают неизбежно возникающие нагрузки, но и соединяют и удерживают позвонки между собой, позволяя выполнять разнообразные движения.

У человека вертикальное положение, позволяющее длительное время стоять (опора), ходить и бегать, обусловило иную, по сравнению с обезьянами, анатомию как верхних, освободившихся от функции передвижения, так и нижних конечностей. Центр тяжести тела человека лежит в области таза на линии, проходящей вдоль бедра, колена и голени. У шимпанзе он вынесен спереди от живота, что облегчает обезьяне хождение с опорой на четыре конечности и позволяет лазать по деревьям.

Значительная доля массы конечностей приходится на мышцы — около 50% всей мускулатуры человека составляют мышцы ног, которые удерживают тело. Например, наибольшее развитие получили такие мышцы, как икроножные, четырёхглавые и разгибатели бедра. Очень развиты ягодичные мышцы.

Верхние конечности утратили функцию опоры при передвижении и превратились в руки, которые являются как «продуктом», так и «орудием» труда.

Большой палец кисти полностью противопоставлен остальным, что способствует подвижности руки и позволяет ей выполнять разнообразные точные движения: писать, рисовать, шить, играть на музыкальных инструментах и др. Сохранились описания кистей рук музыкантов (например, скрипача Н. Паганини) и хирургов (И. Пирогова). М. Горький очень точно описал руки такого труженика, каким был Л. Толстой: «У него удивительные руки — некрасивые, узловатые от расширенных вен и всё-таки исполненные особой выразительности и творческой силы. Вероятно, такие руки были у Леонардо да Винчи». Настоящий гимн рукам представляют собой скульптуры О. Родена «Рука Бога» и «Собор» (рис. 88).

На подушечках пальцев людей сильно развиты папиллярные узоры (рис. 89), индивидуальные у каждого человека. Именно отпечатки пальцев и позволяют детективам определить преступника.



Рис. 88. Огюст Роден. Скульптуры: а — «Рука Бога»; б — «Собор»



Рис. 89. Папиллярные узоры пальцев человека

Стопа человека стала как органом опоры, так и амортизатором от толчков и сотрясений, которые испытывают не только ноги, но и остальные части скелета и находящиеся под их защитой внутренние органы.

Прямохождение привело и к изменению формы грудной клетки. Она стала более округлой и уплощённой в переднезаднем направлении. Этот же фактор определил и форму таза, который характеризуется низкой расширенной формой.

РАЗВИТИЕ ЧЕРЕПА И ГОЛОВНОГО МОЗГА ЧЕЛОВЕКА. Прямохождение и возникновение речи наложило отпечаток и на череп.

В черепе человека произошло смещение точки опоры головы вперёд, а возникновение речи и изменение процесса питания (зубы перестали быть средством защиты или нападения, и отпала необходимость в грубой переработке пищи) привело к уменьшению размеров челюстей и в целом лицевой части черепа. Мозговая же часть черепа, наоборот, увеличилась, так как увеличилась масса головного мозга. В процессе развития происходило как бы выдвигание мозговой части черепа над лицевой. У новорождённых детей мозговая часть значительно превышает по величине лицевую — в отношении 8 : 1. По мере взросления происходит увеличение лицевой части черепа и соотношение в итоге становится 2 : 1.

Мышцы черепа человека также отличаются от мышц обезьян. В отличие от жевательных, у человека очень развиты мимические мышцы, что связано с развитием его эмоциональной сферы.

Увеличение головного мозга явилось следствием мощного развития больших полушарий и дифференциации его областей, ответственных за мышление и речь (в первую очередь лобных, теменных и височных долей). Эти доли ответственны за высшую нервную деятельность. У человека она характеризуется наличием не только первой сигнальной системы, ответственной за восприятие раздражений анализаторами, но и второй сигнальной системы, в основе которой лежит способность человека воспринимать (читать или

...А в минуту печали земля
Подарила мне шар головы,
Так похожий на землю и солнце.
Э. Межелайтис



слышать) устную или письменную речь. Таким образом, вторая сигнальная система становится внегенетическим способом передачи информации в поколениях людей через обучение и воспитание.

Недаром человеческие детёныши, воспитанные животными (например, как Маугли — волками) или лишённые общения с людьми в процессе развития, не могут говорить, понимать речь, ведут себя подобно животным. Поэтому рассказанная Р. Кипплингом история о Маугли — это, конечно, сказка.

Всё вышесказанное позволяет сделать вывод о том, что человек — это не только биологическое, но и социальное существо.



В следующем параграфе поговорим о генетике человека, о методах её изучения и о генетических заболеваниях, которые составляют приблизительно десятую часть от всех заболеваний человека.

Теперь вы знаете

- ▶ систематическую характеристику человека; признаки сходства и различия человека и обезьяны
- ▶ какое влияние прямохождение оказало на скелет человека
- ▶ как происходит развитие черепа и головного мозга человека

Теперь вы можете

- ▶ перечислить признаки, которые позволяют отнести человека и обезьян в одну систематическую группу
- ▶ дать сравнительную характеристику скелета человека и обезьяны
- ▶ назвать доли головного мозга человека, ответственные за речь и мышление
- ▶ объяснить, как в процессе эволюции изменялась форма черепа и развивался мозг человека

Выполните задания

1. Назовите создателя первой научной классификации растений и животных, основные систематические единицы этой классификации, приведите примеры.
2. Объясните, почему Человека разумного относят к типу Хордовые, подтипу Черепные, классу Млекопитающие, подклассу Плацентарные и отряду Приматы, перечислите другие классы, которые выделяют в подтипе Черепные.
3. Определите, чем отличаются первая и вторая сигнальные системы человека.

4. Опишите, как переход к прямохождению отразился на особенностях строения скелета человека — его черепа, позвоночного столба, грудной клетки, верхних и нижних конечностей, мышц головы и конечностей.
5. Охарактеризуйте человека как биосоциальное существо.
6. В прежние времена преподаватели анатомии, обожающие публичные эффекты, бросали на пол череп молодого человека и череп старика, первый подпрыгивал как мячик, а второй раскалывался на куски. Объясните почему.

☉ Темы для рефератов

1. Человекообразные обезьяны.
2. Антропология — наука о человеческой природе.
3. Дактилоскопия и хиромантия.

§ 21. Генетика человека

1. Опишите, как построена молекула ДНК.
2. Назовите число хромосом у человека.
3. Перечислите признаки, которые, как вы знаете, передаются по наследству в вашем роду.
4. Объясните, что такое «лысенковщина», проиллюстрировав это понятие отрывками из романа В. Дудинцева «Белые одежды».

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ ГЕНЕТИКИ. В курсе биологии основной школы вы изучали генетику, и с некоторыми её понятиями знакомились ранее в нашем курсе.

Генетика — наука о наследственности и изменчивости.

Однако терминология этого раздела биологии широко распространена не только в науке, но и в средствах массовой информации, даже в поэзии и в обыденной речи.

Вспомним содержание основных понятий.

Наследственность — свойство организмов обеспечивать преемственность между поколениями.

Знай: мы в забвение не канем,
 Как в пропасть падающий камень,
 Как пересохшая река.
 Наследственность бессмертной птицей
 Влюблённым на плечи садится,
 Зовёт в грядущие века.

В. Шефнер



Наследование — передача генетической информации от одного поколения организмов к другому.

Изменчивость — свойство организмов обеспечивать разнообразие особей.

Ген — единица наследственности, участок молекулы ДНК, несущий информацию об одном белке.

Хромосомы — системы линейно расположенных и сцепленных генов, постоянные, структурные компоненты ядра, носители и хранители генетической информации. У человека 46 хромосом (23 пары), из которых 22 пары — аутосомы, а 1 пара — половые хромосомы (у мужчин XY, а у женщин XX).

Гомологичные хромосомы — хромосомы, сходные по форме, по размерам, по набору генов, но различные по происхождению: материнская и отцовская.

Мутации — стойкие наследуемые изменения генетического материала.

Аллельные гены — гены, расположенные в одних и тех же участках (локусах) гомологичных хромосом и ответственные за развитие одного признака.

Аллели — различные формы проявления одного гена.

Геном — совокупность генов, содержащихся в гаплоидном (одинарном) наборе хромосом данного вида организмов.

Генотип — совокупность всех генов какой-либо клетки или целого организма.

Генофонд — совокупность генов особей данной популяции или вида.

Фенотип — совокупность внешних и внутренних признаков и свойств организма, сформировавшихся на основе взаимодействия его генотипа с условиями внешней среды.

Доминирование — явление преобладания одного признака над другим. Соответственно ген, определяющий этот признак, называется доминантным, а ген, определяющий подавленный (не проявляющийся в фенотипе) признак, называется *рецессивным*.

ГЕНОМ ЧЕЛОВЕКА. Как вы уже знаете, ДНК структурно состоит из отдельных «кирпичиков» — нуклеотидов. Различают четыре вида нуклеотидов — аденин (А), гуанин (Г), цитозин (Ц), тимин (Т). В молекуле ДНК нуклеотиды соединяются друг за другом, образуя длинные цепи. Нуклеотиды расположены в ДНК не в случайном порядке, они образуют «слова» генетического языка, т. е. гены.

В 1990 г. была создана Международная организация по изучению генома человека. С самого начала работ по геномному проекту учёные договорились об открытости и доступности всей получаемой информа-

ции для его участников независимо от их вклада и государственной принадлежности. Все 23 пары хромосом человека были поделены между странами-участницами для *секвенирования* (от англ. *sequense* — последовательность) — определения последовательности нуклеотидов в цепочке ДНК. В решении этой задачи принимали участие несколько тысяч учёных из 20 стран мира, работающих в различных областях науки — молекулярной биологии, органической и биологической химии, физике, математике, информатике. Это был один из наиболее дорогостоящих проектов в истории науки, сопоставимый разве что со знаменитым адронным коллайдером. Международная программа «Геном человека» решила задачу составления генетических карт (рис. 90) каждой из хромосом человека, т. е. схем, отображающих реально существующий линейный порядок размещения генов в них. Эта задача была успешно решена в 2000 г.

В результате был создан международный банк данных о последовательности нуклеотидов ДНК в хромосомах человека, а также о последовательности аминокислот в большинстве белков организма человека. Было выяснено, что геном человека содержит 30—40 тыс. отличающихся друг от друга генов. Средняя длина генов составляет около 50 тыс. пар нуклеотидов. Самые короткие, например гены эндорфина (гормона радости), содержат всего 20 нуклеотидов. Самый длинный ген — ген миодистрофина (мышечного белка) — состоит из 2,5 млн нуклеотидов.

В настоящее время в мире полностью расшифрованы структуры генов, ответственных за многие болезни человека, в том числе и такие серьёзные, как болезнь Альцгеймера, мышечная дистрофия (рис. 91), наследственный рак молочной железы и яичников. Ещё в 1999 г. была установлена структура 22-й хромосомы и определены функции половины её генов. С дефектами в них связано 27 различных заболеваний, в том числе и шизофрения. Самым эффективным способом лечения больных является замена дефектного гена здоро-

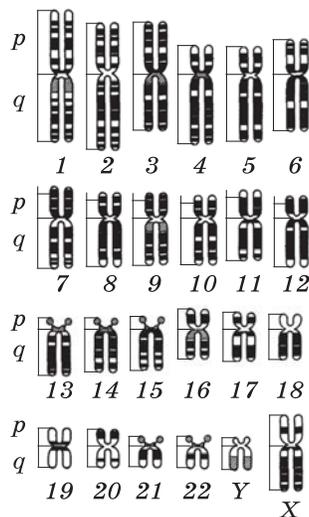


Рис. 90. Схематические карты хромосом человека при дифференциальной окраске

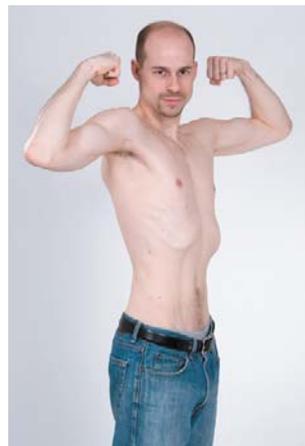


Рис. 91. Мужчина с мышечной дистрофией

вым. Например, с помощью введения здоровых копий вместо повреждённого гена удалось добиться существенного облегчения состояния ребёнка, страдающего тяжёлым врождённым иммунодефицитом.

Результаты секвенирования имеют очень большое значение и при идентификации новых генов, и при выявлении среди них тех, которые обуславливают предрасположенность к тем или иным заболеваниям. Так, есть данные о генетической предрасположенности к алкоголизму и наркомании, открыто уже 7 генов, дефекты в которых приводят к токсикомании. Это позволит проводить раннюю диагностику заболеваний, предрасположенность к которым уже установлена.

Было также обнаружено, что разные аллели одного гена могут обуславливать разные реакции людей на отдельные лекарственные препараты. Следовательно, производство таких лекарств должно носить не массовый, а индивидуальный характер. Появилось новое направление генетики — *фармакогенетика*, которая изучает, как те или иные особенности строения ДНК могут повлиять на эффективность лечения.

Важное значение расшифровка генома человека имеет для идентификации личности. Чувствительность методов геномной идентификации такова, что достаточно одной капли крови или слюны, одного волоса, чтобы с абсолютной достоверностью (99,9%) установить родственные связи между людьми.

Расшифровка генома человека позволила создать такое направление генетики, как *этногеномику*. Этнические группы, населяющие Землю, имеют некоторые групповые генетические признаки, характерные только для данного этноса. Получаемая информация в ряде случаев может подтвердить или опровергнуть этнографические, исторические, археологические, лингвистические гипотезы.

Ещё одно интересное направление — *палеогеномика*, занимающаяся исследованием ДНК, извлеченной из останков людей, найденных в древних захоронениях.

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ГЕНЕТИКИ ЧЕЛОВЕКА. В настоящее время изучен характер наследования около 2000 признаков. Изучение генетики человека позволяет диагностировать, лечить и предсказывать вероятность возникновения того или иного заболевания, проявление того или иного признака. Для профилактики и прогнозирования вероятности генетического заболевания созданы медико-генетические консультации.

Наиболее известны генеалогический, близнецовый, цитогенетический методы изучения генетики человека.

Генеалогический метод — самый ранний из методов изучения генетики человека. Он основан на составлении родословной человека и изучении характера наследования признаков. Суть его состоит в уста-

новлении родословных связей и определении доминантных и рецессивных признаков (рис. 92) и характера их наследования. Особенно эффективен этот метод при исследовании генных мутаций. Метод включает два этапа: сбор исторических сведений о наибольшем числе предшествующих поколений рода и генеалогический анализ этих сведений. Родословная составляется, как правило, по одному или нескольким признакам. С помощью этого метода удалось определить, что гемофилия, распространённая в царских домах Европы, передавалась сцепленно с полом. И хотя носителем рецессивного гена были женщины, болели ею исключительно мужчины.



Рис. 92. Семейная фотография. Докажите, что у папы в роду были голубоглазые блондины

Главным образом с помощью генеалогического метода установили доминантные и рецессивные признаки человека (табл. 8).

ТАБЛИЦА 8

ДОМИНАНТНЫЕ И РЕЦЕССИВНЫЕ ПРИЗНАКИ ЧЕЛОВЕКА

Признак	Доминантный	Рецессивный
Размер глаз	Большие	Маленькие
Цвет глаз	Карие	Голубые
Острота зрения	Близорукость	Нормальная
Ямочки на щеках	Есть	Нет
Подбородок	Прямой	Отступающий назад
	Широкий	Узкий и острый
Выступающие зубы и челюсти	Есть	Нет
Щель между резцами	Есть	Нет
	С мелкими завитками	Вьющиеся, волнистые
	Жёсткие, прямые, «ёжик»	Прямые, мягкие
	Вьющиеся	Волнистые или прямые
Тёмные	Светлые	
Седина	В возрасте 25 лет	В возрасте 40 лет
Облысение	У мужчин	У женщин

Признак	Доминантный	Рецессивный
Способность свёртывать язык трубочкой	Есть	Нет
Цвет кожи	Тёмный	Светлый
Веснушки	Есть	Нет
Преобладающая рука	Правая	Левая
Абсолютный музыкальный слух	Есть	Нет

Близнецовый метод изучает влияние среды на развитие различных признаков в фенотипе при одинаковом генотипе идентичных близнецов. Идентичные (однояйцовые) близнецы образуются из одной оплодотворённой яйцеклетки, разделившейся на ранней стадии развития на две части. В этом случае развиваются не один, а сразу два зародыша. Они имеют одинаковый генетический материал, всегда одного пола, и наиболее интересны для изучения. Сходство у таких близнецов почти абсолютное (рис. 93). Мелкие различия могут объясняться влиянием условий развития. Этот метод позволил выяснить, что цвет глаз, форма и цвет волос, группа крови и резус-фактор определяются только генотипом и не зависят от воздействия внешней среды. Инфекционные заболевания, хотя и вызываются бактериями и вирусами, зависят в некоторой степени от наследственной предрасположенности. А вот гипертония и ревматизм зависят от генотипа в меньшей степени, и их развитие определяется внешними факторами.

Цитогенетический метод заключается в микроскопическом исследовании структуры хромосом и их количества у здоровых и больных людей. Этот метод позволяет диагностировать и предложить программы лечения хромосомных и геномных болезней — синдромов. Они в большинстве случаев не наследуются. Хромосомные синдромы, обусловленные изменениями структуры хромосом, встречаются сравнительно редко: один случай на десятки тысяч новорождённых. Наиболее изучен синдром «кошачьего крика», основное проявление которого — необычный плач ребёнка возникает из-за патологии гортани и

Рис. 93. Близнецы:
а — однояйцовые (идентичные);
б — разнаяйцовые



а



б

голосовых связок. Из геномных болезней, в результате которых изменяется число хромосом, наиболее детально изучен синдром Дауна. В его основе лежит появление лишней хромосомы (трисомия). Главными признаками болезни Дауна являются монголоидный тип лица, умственная отсталость. При синдроме Дауна наблюдаются пороки сердца и крупных сосудов, органов пищеварительного тракта, а также снижение продолжительности жизни в 5—10 раз.

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ (НАСЛЕДСТВЕННЫЕ) ЗАБОЛЕВАНИЯ. Примерно десятая часть всех болезней человека и предрасположенности к ним определяется генами. Соответственно различают генетические (наследственные) заболевания и заболевания с генетической предрасположенностью.

Заболевания с генетической предрасположенностью, как показал близнецовый метод изучения генетики человека, зависят и от генотипа, и от среды (уже упомянутые ревматизм и гипертоническая — ишемическая болезнь, а также сахарный диабет, язвенные болезни желудка и двенадцатиперстной кишки, многие онкологические заболевания, шизофрения и др.).

Известно несколько тысяч **генетических заболеваний**. Их можно разделить на уже знакомые вам геномные и хромосомные, а также генные, при кото-

рых изменяется последовательность нуклеотидов в молекуле ДНК. Примером генных заболеваний может служить галактоземия — невозможность усваивать молочный сахар. Это заболевание связано с недостаточной активностью фермента, обеспечивающего превращение галактозы (молочного сахара) в глюкозу. При этом наблюдаются желтуха, поражение печени и селезёнки, катаракта, а главное — умственная отсталость. Диета, не содержащая молочного сахара, предотвращает развитие указанных симптомов.

Очевидно, что болезни можно победить, лишь зная их. Ведь каждый человек, казалось бы абсолютно здоровый, может нести в себе скрытую болезнь или обладать «больным» геном. И ещё: для того чтобы бороться с болезнями, надо хорошо знать, как работают органы и системы органов человека.

Те, кто здоров, те, кто во цвете лет,
По простоте своей считать готовы,
Что в этом мире смерти вовсе нет,
Что все сильны на свете и здоровы.



А мне с вершины зрелости своей,
Достаточно лежавшему в больницах,
Порою кажется, что нет людей,
Внутри которых хвори не таится.

Р. Гамзатов



Поэтому следующий параграф будет посвящён действиям законов физики в организме человека.

☉ Теперь вы знаете

- ▶ основные понятия генетики
- ▶ что такое геном человека
- ▶ методы изучения генетики человека
- ▶ чем вызываются генетические (наследственные) заболевания

☉ Теперь вы можете

- ▶ перечислить четыре вида нуклеотидов, из которых построена молекула ДНК
- ▶ объяснить, что изучает фармагенетика, этногенетика и палеогенетика
- ▶ назвать методы изучения генетики человека
- ▶ определить, что такое секвенирование и какие задачи с его помощью были решены

☉ Выполните задания

1. Дайте определения следующих понятий: «генетика», «наследственность», «изменчивость», «хромосомы», «гомологичные хромосомы», «геном», «генотип», «генофонд», «фенотип», «доминантные гены», «рецессивные гены». Приведите примеры последних двух понятий и назовите признаки, за которые они отвечают.
2. Объясните, в чём суть международного проекта «Геном человека» и каковы его результаты.
3. Сформулируйте, какие болезни называются хромосомными, геномными, генными, какие имеют предрасположенный характер. Приведите примеры таких заболеваний.
4. Голубоглазый смуглый курчавый мужчина с отрицательным резус-фактором женился на кареглазой, белокожей, прямоволосой женщине с положительным резус-фактором. Опишите признаки, которые будут у детей в этой семье, если допустить, что указанные признаки наблюдались у родителей в нескольких предыдущих поколениях.

☉ Темы для рефератов

1. Г. Мендель — основоположник учения о наследственности.
2. История развития генетики в России.
3. Достижения современной генетики.
4. Династия Габсбургов: фамильные признаки и наследственные болезни.
5. Гемофилия — проклятие дома Романовых.

§ 22. Физика человека

1. Сформулируйте первый и второй законы термодинамики.
2. Объясните, очки с какими диоптриями носят при близорукости и при дальнозоркости.

Человек — существо биологическое. Однако нормальное функционирование его организма происходит в полном соответствии и с законами физики. Процессы обмена веществ, энергии и информации, которые являются обязательным условием существования всего живого, протекают согласно первым двум законам термодинамики. Их мы рассматривали ранее, поэтому остановимся на некоторых примерах, иллюстрирующих действие этих и других законов физики для отдельных органов и систем органов человека.

СКЕЛЕТ. Пятая часть массы тела взрослого человека приходится на скелет. В скелете взрослого человека насчитывается более 200 костей. В большинстве своём кости являются рычагами, с помощью которых совершаются разнообразные движения тела и его частей в пространстве.

Рычаги позволяют уменьшить нагрузку на скелет. Вспомним условия равновесия рычага. Рычагом называют стержень, имеющий точку опоры, вокруг которой он может вращаться. Существуют рычаги, имеющие точку опоры на конце стержня, и рычаги, точка опоры которых находится на некотором расстоянии от его концов (рис. 94). В первом случае, для того чтобы поднять груз, прикладывают силу, направленную вверх, во втором — направленную вниз.

Плечом (l) силы называют кратчайшее расстояние от точки опоры до линии, вдоль которой действует сила.

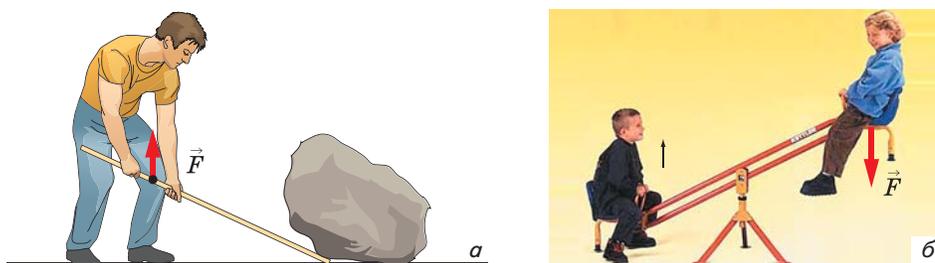


Рис. 94. Примеры рычагов: *а* — с точкой опоры на конце рычага; *б* — с точкой опоры посередине рычага

Величину, равную произведению силы и её плеча, называют **моментом силы** (M). Таким образом, $M = Fl$.

Рычаг находится в равновесии, если момент силы, действующей на него по часовой стрелке, равен моменту силы, действующей на него против часовой стрелки, т. е. $M_1 = M_2$ или $F_1l_1 = F_2l_2$.

Следовательно, если, например, на локтевую кость действует некоторая сила, то напряжение, возникающее в ней, может быть уменьшено за счёт увеличения плеча силы. По этой же причине после прыжка нельзя приземляться на прямые ноги — только на согнутые, так как сгибание ног позволяет уменьшить силу, действующую на кости ног.

Областью контактов костей являются суставы, которые обеспечивают подвижность костей и являются одним из основных элементов опорно-двигательной системы. При работе рук, ног и других костей скелета кости трутся друг о друга и могут разрушаться. Чтобы этого не произошло, в суставе (в так называемой суставной сумке) имеется жидкость, которая играет роль смазки и уменьшает трение. Многие заболевания суставов связаны с уменьшением или отсутствием такой смазки.

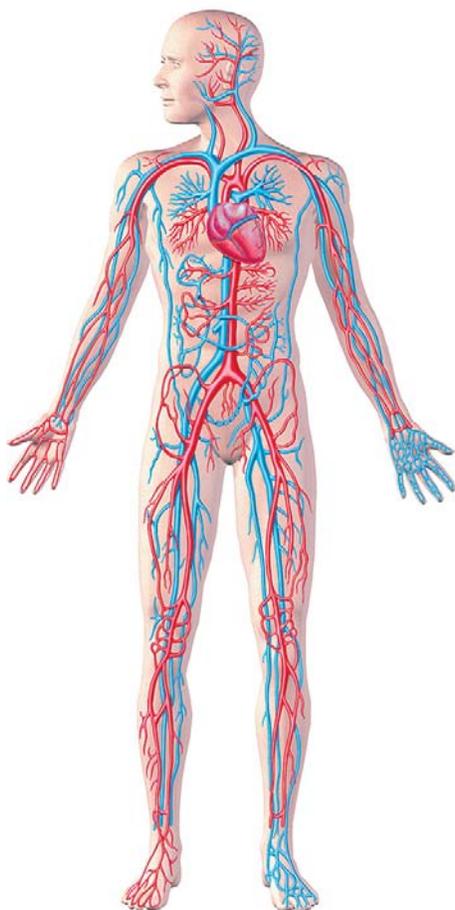


Рис. 95. Кровеносная система человека

СИСТЕМА КРОВООБРАЩЕНИЯ. Работающее *сердце* создаёт условия для возникновения электрического тока. При сокращении предсердий они заряжаются отрицательно по отношению к желудочкам, которые в это время находятся в расслабленном состоянии. Таким образом, при работе сердца возникает разность потенциалов, которую можно зафиксировать с помощью особого прибора — *электрокардиографа*. Так как тело человека хорошо проводит электрический ток, биопотенциалы, возникающие в сердце, могут быть обнаружены на поверхности тела. Для получения электрокардиограммы, т. е. записи биотоков сердца, электроды прикрепляют на внутренние поверхности пред-

плечий обеих рук, икроножную мышцу левой ноги и поверхность грудной клетки.

Под действием давления крови, поступающей из левого желудочка в аорту, этот кровеносный сосуд расширяется и в силу эластичности своих стенок возвращается в прежнее состояние, создавая, таким образом, колебательную волну, которая распространяется по артериям, — *пульс*. Его мощно ощутить на лучевой артерии у запястья, где она расположена наиболее поверхностно. Пульс в норме у взрослого человека составляет 70—75 ударов в минуту.

В соответствии с законами гидродинамики, движение крови по сосудам определяется двумя причинами: разностью давления в начале и в конце сосуда и гидравлическим сопротивлением.

Количество крови, протекающее в единицу времени через кровеносную систему (рис. 95), тем больше, чем больше разность давлений в её артериальном и венозном концах и чем меньше сопротивление току крови. Эта закономерность получила название **основного гидродинамического закона**, который определяет и кровообращение в целом, и течение крови по отдельным сосудам.

Кровяное давление — давление крови на стенки кровеносного сосуда, измеряется в мм рт. ст. В различных отделах кровеносной системы оно разное:

- в аорте — 100 мм рт. ст.;
- в артериях — 90 мм рт. ст.;
- в капиллярах — 25 мм рт. ст.;
- в венах — 5 мм рт. ст.;
- в нижней полой вене — 3 мм рт. ст.

Различают артериальное, венозное и капиллярное давление крови. Величина артериального давления (рис. 96) у здорового человека является довольно постоянной: максимальное 100—120 мм рт. ст., минимальное 60—80 мм рт. ст. В течение суток наблюдается колебание значения артериального давления: днём оно выше, чем ночью. Значительное повышение артериального давления может наблюдаться при занятиях спортом, физическим трудом, а также в результате заболеваний. Повышенное артериальное давление называют *гипертензией*, а пониженное — *гипотонией*. Измеряют его с помощью специальных аппаратов — *тонометров*.

Газообмен происходит в капиллярах с помощью диффузии. Почему? Общее количество капилляров в системе сосудов большого



Рис. 96. Измерение артериального давления

круга кровообращения составляет около 2 млрд. Протяжённость их 800 км, площадь внутренней поверхности — 25 м², а вот объём крови во всех капиллярах равен объёму сердечного выброса — 63—65 мл. Поперечное сечение всего капиллярного русла в 500—600 раз больше поперечного сечения аорты, а потому и скорость тока крови в капиллярах в такое же число раз меньше скорости тока крови в аорте (0,5—1,0 мм/с). За время движения по капиллярам кровь успевает отдать в клетки тканей кислород и забрать из них углекислый газ.

Работа сердца создаёт разность давлений крови в артериальной системе и правом предсердии. Этот фактор, а также отрицательное давление в грудной клетке, сокращение скелетных мышц и наличие клапанов в венах позволяют крови совершать непрерывное движение от желудочков к предсердиям.

ВЫДЕЛИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА. Структурными и функциональными единицами почек, как вы знаете из курса биологии основной школы, являются особые тельца — **нефроны** (рис. 97).

Внутри нефрона расположен клубочек из 50 капиллярных петель. При этом приносящий кровь сосуд в 2 раза шире выносящего. Давление крови в приносящем сосуде 95 мм рт. ст., в капиллярном клубочке — 57 мм рт. ст., а в выносящем сосуде — лишь 25 мм рт. ст. В силу этого кровь фильтруется через

мембраны клеток капиллярного клубочка. Так образуется первичная моча. Она состоит на 98% из воды и продуктов распада белков (мочевины, мочевой кислоты). Из неё образуется вторичная моча в результате

обратного всасывания воды в кровь. Благодаря этому процессу человек не выпивает в день по бочке воды, так как первичной мочи образуется в каждой почке до 50—60 л, а вторичной мочи — лишь 1,0—1,5 л. Она накапливается в мочевом пузыре.

КОЖА. Процесс терморегуляции тоже протекает на основе законов физики, т. е. за счёт теплопроводности, конвекции, излучения и испарения воды.

В результате теплопроводности тело непосредственно отдаёт тепло окружающей среде, например воздуху. Далее вследствие кон-



Какие печень и почки!
Какой мочевой пузырь!
Вот мужество одиночки.
Вот истинный богатырь.

Е. Евтушенко

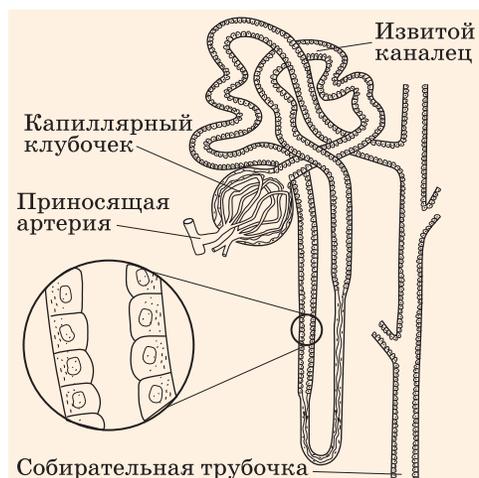


Рис. 97. Фрагмент выделительной системы

векции более нагретый воздух поднимается вверх, а на его место приходят слои воздуха, имеющие меньшую температуру. Теплопередача тем интенсивнее, чем больше разность температур поверхности тела и окружающего воздуха. Скорость теплопередачи увеличивается при движении воздуха, например при ветре. Так, при скорости ветра 1 м/с кожа охлаждается на 2,6 °С. Интенсивность теплопередачи во многом зависит от теплопроводности окружающей среды, например в воде теплопередача происходит быстрее, чем на воздухе, поскольку вода обладает большей теплопроводностью, чем воздух. Одежда уменьшает или даже прекращает теплопередачу.

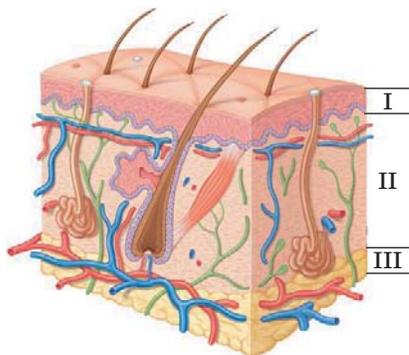


Рис. 98. Строение кожи: I — эпидермис; II — дерма; III — подкожная клетчатка

Излучение происходит с помощью инфракрасных лучей тем интенсивнее, чем выше температура тела. Кожа (рис. 98) богата кровеносными сосудами, которые при повышении температуры окружающей среды расширяются и увеличивают процесс теплопроводности и излучения. При понижении температуры окружающей среды происходит обратный процесс.

Испарение воды с поверхности тела ($\frac{2}{3}$ влаги) и в процессе дыхания ($\frac{1}{3}$ влаги) также способствуют терморегуляции. На испарение 1 г воды расходуется 2,4 кДж энергии. Этот процесс происходит при выделении пота. Даже при полном отсутствии видимого потоотделения через кожу в сутки испаряется до 0,5 л воды (невидимое потоотделение). При дыхании человек также выделяет ежедневно около 0,5 л воды (энергия при этом тратится не только на испарение воды из лёгких, но и на согревание выдыхаемого воздуха). Испарение 1 л пота у человека весом 75 кг может понизить температуру тела на 10 °С.

В состоянии покоя взрослый человек выделяет во внешнюю среду 15% энергии путём теплопроводности и конвекции, 65% — за счёт излучения, 20% — за счёт испарения воды.

ДЫХАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА. Дыхание — неотъемлемый признак жизни человека. Мы дышим постоянно с момента рождения и до смерти. Дыхание — сложный непрерывный процесс, в результате которого постоянно обновляется газовый состав крови и происходит биологическое окисление в тканях. При этом освобождается скрытая химическая энергия, которая является источником всех жизненных процессов организма.

За счёт отрицательного давления в грудной полости (оно в состоянии покоя у человека на 6—9 мм рт. ст. ниже атмосферного) структур-

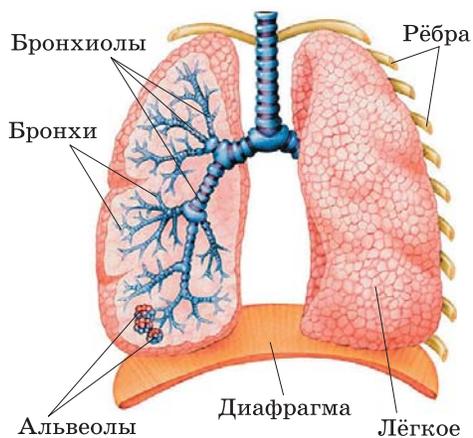


Рис. 99. Строение лёгкого



Рис. 100. Центральная нервная система человека

ные единицы лёгкого — **альвеолы** — всегда находятся в растянутом состоянии. Газообмен в лёгких (рис. 99) и тканях подчиняется физическим закономерностям. Вдыхаемый воздух — это смесь газов, каждый из которых переходит в кровь или тканевую жидкость в зависимости от величины его парциального давления. Под **парциальным давлением** понимают ту часть давления, которая приходится на отдельный газ в смеси газов (для кислорода оно составляет 102 мм рт. ст., а для углекислого газа — 5,33 мм рт. ст.). Газ всегда диффундирует из среды, где имеется высокое давление, в среду с меньшим давлением. Поэтому в альвеолах лёгких из воздуха уходит кислород и поступает углекислый газ, а в тканях — наоборот.

Голосообразование обеспечивается не только специализированным для этого органом — **горланью**, но и дыхательными мышцами живота, грудной клетки, диафрагмы, лёгкими, полостью рта, носом, губами и зубами. Для голоса характерны *сила* (зависит от давления выдыхаемого воздуха), *высота* (зависит от напряжения голосовых связок) и *тембр*. Тембр голоса всегда индивидуален, он зависит от резонаторов, т. е. различных полостей, заполненных воздухом. Голос так же неповторим, как радужная оболочка глаза или отпечатки пальцев.

НЕРВНО-МЫШЕЧНАЯ СИСТЕМА.

Между наружной поверхностью клетки и цитоплазмой существует разность потенциалов около 60—

90 мВ. Такую разность потенциалов называют **потенциалом покоя** или **мембранным потенциалом**. При этом поверхность клетки заряжена электроположительно по отношению к цитоплазме.

При поступлении раздражения на участок нервного или мышечно-волокну возникает возбуждение, в результате которого возбуждённый участок заряжается отрицательно по отношению к невозбуждённому. Эту разность потенциалов между участками мышечного или нервного волокна называют **потенциалом действия**. Он распространяется по нервным волокнам и анализируется в центральной нервной системе (рис. 100). Аналогичную биоэлектрическую природу имеют сигналы, идущие от центральной нервной системы в ответ на поступившее раздражение.

О деятельности головного мозга судят по его электрической активности. Разность потенциалов в головном мозге очень мала (несколько десятков микровольт), поэтому необходимо использовать усилители биотоков и осциллографы для их графической регистрации. Такой прибор для записи электрических колебаний головного мозга называется *электроэнцефалографом*, а кривая биопотенциалов — *электроэнцефалограммой*.

ЗРЕНИЕ. 90% всей информации, поступающей в мозг человека, даёт зрение. Исключительную роль в этом играет глаз. Напомним строение глаза (рис. 101), вы уже изучали его на уроках анатомии в основной школе. Глаз состоит из **белочной оболочки**, в передней части глаза образующей прозрачную **роговицу**, пропускающую свет. Под белочной расположена **сосудистая оболочка**, в переднем отделе она образует **радужную оболочку** и **зрачок**. Внутренняя оболочка — **сетчатка** — состо-

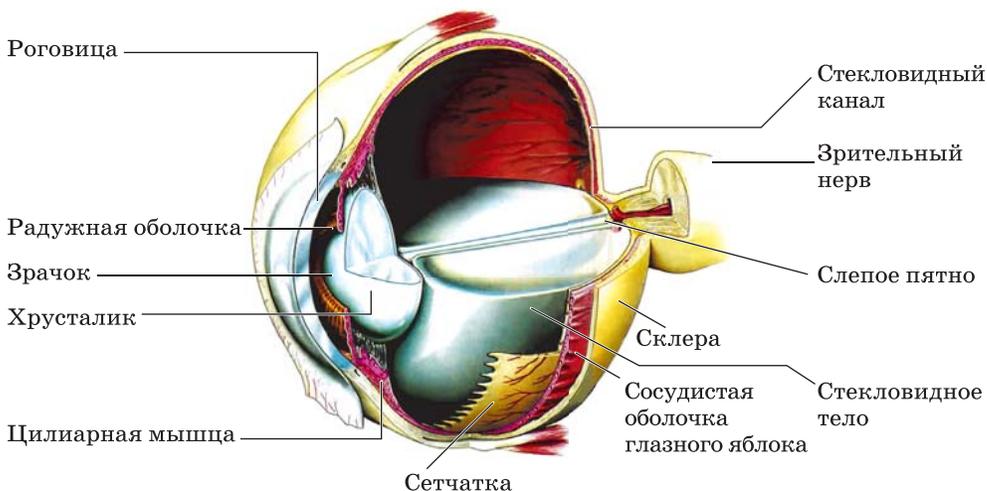


Рис. 101. Строение глаза человека

ит из палочек, колбочек и нервных клеток, от которых возбуждение идёт в головной мозг. **Зрачок** — отверстие в радужной оболочке, за которой находится **хрусталик**, погружённый в водянистую жидкость. За ним расположено прозрачное **стекловидное тело**, оно заполняет внутреннюю часть глазного яблока.

Роговица, хрусталик и стекловидное тело составляют оптическую систему глаза, преломляющую световые лучи, в результате чего на сетчатке возникает уменьшенное перевёрнутое изображение рассматриваемого предмета.

Величину, которая характеризует преломляющую способность оптической системы глаза, называют **оптической силой** и обозначают буквой D .

Оптическая сила — величина, обратная фокусному расстоянию, измеренному в метрах: $D = 1/F$.

Единицей оптической силы является *диоптрия* (дптр). 1 диоптрия — это оптическая сила линзы, имеющей фокусное расстояние в 1 м. При увеличении фокусного расстояния линзы её оптическая сила уменьшается. Преломляющая сила оптической системы глаза при рассматривании дальних предметов — около 59 дптр, а при рассматривании близких — 0,5 дптр.

Человек хорошо видит и близкие, и дальние предметы, изменяя кривизну хрусталика. При аномалиях наблюдается *дальнозоркость* (чёткое изображение рассматриваемого предмета возникает за сетчаткой) или *близорукость* (чёткое изображение рассматриваемого предмета возникает перед сетчаткой). Чтобы изображение предмета попало на сетчатку при дальнозоркости, лучи, идущие от предмета, нужно собрать, приблизить к оптической оси. Для этого используют очки с собирающей линзой. В случае близорукости точку пересечения лучей, идущих от предмета, нужно удалить. Это можно сделать, если удалить лучи от оптической оси. И здесь помогут очки с рассеивающей линзой.

Человек способен различать большое количество цветов. Признанной теорией, объясняющей механизм *цветового зрения*, является теория Ломоносова — Гельмгольца. **М. В. Ломоносов** (1711—1765) высказал предположение о наличии в сетчатке трёх элементов, воспринимающих три основных цвета. В XIX в. эту теорию обосновал и развил немецкий врач и физик **Г. Л. Ф. Гельмгольц** (1821—1894). Раздражение глаза электромагнитными волнами длиной 620—760 нм вызывает ощущение красного цвета, 510—560 нм — зелёного, 390—450 нм — фиолетового. Возбуждение, дошедшее до коры головного мозга, суммируется, и возникает ощущение того или иного цвета.

СЛУХ. Важнейшим из органов чувств человека, имеющих особую актуальность в связи с развитием речи, является слух. Напомним строение уха (рис. 102) — органа слуха.

Оно состоит из *наружного, среднего и внутреннего уха*. Ушная раковина концентрирует звуки и направляет их в слуховой проход к барабанной перепонке, разграничивающей наружное и среднее ухо. Её колебания передаются слуховым косточкам (молоточку, наковальне и стремечку), а затем — мембране овального окна. При этом давление звуковых волн увеличивается в 30 раз, что обеспечивает колебание жидкости во внутреннем ухе. Полость среднего уха соединена с носоглоткой, и давление в нём уравнивается с атмосферным с помощью *евстахиевой трубы*.

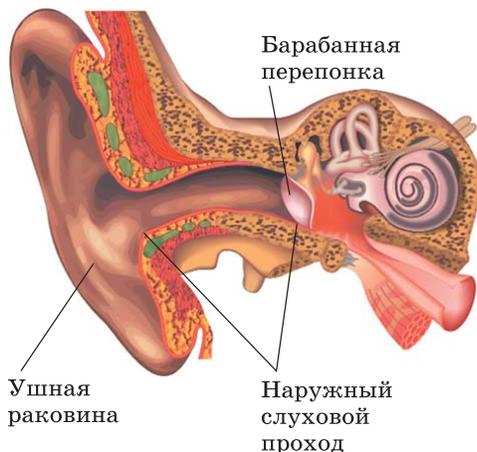


Рис. 102. Строение уха человека

Круглое окно с мембраной разграничивает среднее и внутреннее ухо. Во внутреннем ухе к органу слуха относится улитка, канал которой разделён как бы на два этажа мембраной, состоящей из отдельных волокон разной длины. Самые длинные волокна расположены на вершине улитки, а самые короткие — у её основания. На этих волокнах находятся слуховые волосковые клетки. Такие клетки на вершине улитки воспринимают низкие звуки, а у основания — высокие. Человек может воспринимать звуки с частотой от 16 000 до 20 000 Гц.



Мы привели лишь некоторые примеры действия законов физики для жизнедеятельности организма человека, но должны констатировать, что только физической работой его органов и систем органов объяснить нельзя, — необходимо учитывать закономерности и других естественных наук, например химии, о чём и пойдёт речь в следующем параграфе.

Теперь вы знаете

- ▶ каковы функции скелета
- ▶ механизм функционирования системы кровообращения
- ▶ строение выделительной системы
- ▶ строение кожи
- ▶ строение дыхательной системы

Теперь вы можете

- ▶ описать, как происходит газообмен в капиллярах, лёгких и тканях, как фильтруется кровь в нефронах, как протекает процесс терморегуляции в организме человека

- ▶ назвать приборы и аппараты, которые фиксируют и записывают биотоки сердца, электрические колебания головного мозга, с помощью которых измеряют кровяное давление

☉ Выполните задания

1. Проиллюстрируйте примерами из биологии суть первого и второго законов термодинамики.
2. Объясните, в соответствии с какими физическими законами происходит движение крови по сосудам и как оно обеспечивается. Как измерить пульс и артериальное давление?
3. Опишите строение глаза, уха.
4. Дайте характеристику таких явлений, как дрожь, мурашки и гусиная кожа. Расскажите, что означают выражения: «раскраснелся от тепла» и «посинел от холода».
5. Проанализируйте, как возникают и передаются нервные импульсы, из чего складывается оптическая система глаза, как возникает изображение на сетчатке, как воспринимается звук органом слуха человека.
6. Назовите причину, по которой при взлёте самолёта или при погружении в воду у человека закладывает уши; объясните, зачем стюардессы во время взлёта и посадки самолёта раздают пассажирам карамель.

☉ Темы для рефератов

1. Что есть человек с точки зрения физики (основные параметры для органов, систем, тканей тела человека).
2. Электрические и акустические явления при работе сердца.
3. Цветовое зрение у животных.

§ 23. Химия человека

1. Перечислите физические и химические свойства воды.
2. Объясните, какие реакции называют реакциями гидролиза.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА. Человек — это неотъемлемая часть живой природы и имеет такую же химическую организацию, какую имеют все живые организмы на Земле. Её основу составляют неорганические и органические вещества, построенные 70 химическими элементами. Эти элементы называются **биогенными** (т. е. рождающи-

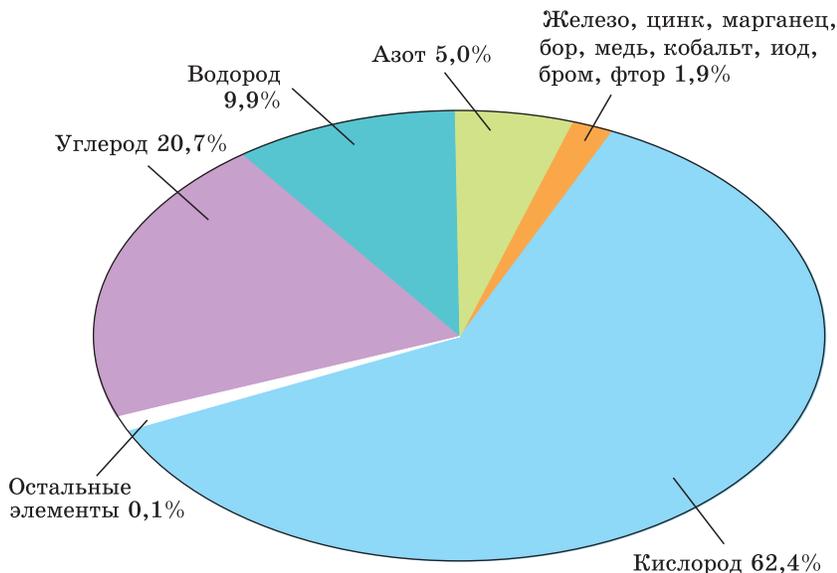


Рис. 103. Химические элементы в организме человека

ми жизнь). Атомы таких элементов занимают первые четыре периода таблицы Д. И. Менделеева и, следовательно, характеризуются небольшими радиусами и сравнительно малой относительной атомной массой. Поэтому они способны давать прочные ковалентные связи, чем и объясняется их биологическая роль. На диаграмме (рис. 103) показано, из каких химических элементов состоит тело человека.

Если массовая доля элемента в организме превышает $10^{-2}\%$, то его следует отнести к **макроэлементам**. На 4 элемента — кислород, углерод, водород и азот — приходится 96% массы тела человека. Кроме этих элементов к макроэлементам относятся фосфор, сера, кальций, калий, натрий.

Других элементов в организме человека содержится значительно меньше — 10^{-3} — $10^{-5}\%$. Их называют **микроэлементами** (железо, хлор, кремний, алюминий, марганец). Если содержание элемента ниже $10^{-5}\%$, его считают **ультрамикроэлементом** (медь, марганец, иод, цинк, фтор, бром). Конечно, такая граница условна, например магний попадает в промежуточную область между макро- и микроэлементами.

Неорганические вещества, образованные химическими элементами, относятся к разным типам и классам веществ.

Но вот его ценностью — довольно мило:
 Жи́ра — на семь копеек мыла,
 Же́леза — на гвоздик, тупой с обоех,
 Фо́сфора — на три копейки спичек,
 Ка́лия — выстрел (да и он плох),
 Се́ры — против десятка блох.
 Всего же в итоге на сорок копеек.

И. Сельвинский

Например, простое вещество кислород составляет основу дыхания, к оксидам относятся известные каждому человеку вода и углекислый газ, к основаниям — образующийся при распаде белков аммиак, к кислотам — содержащаяся в желудке соляная кислота. Однако наибольшая доля неорганических веществ приходится на минеральные соли.

Таблица 9
СОСТАВ ВЕЩЕСТВ ТЕЛА ВЗРОСЛОГО ЧЕЛОВЕКА, %

Орган или часть тела человека	Процент от массы	Вода	Жиры	Белки	Минеральные соли
Кожа	7,81	64,68	13,00	22,10	0,68
Скелет	14,84	31,81	17,18	18,93	28,91
Зубы	0,06	5,0	0,0	23,0	70,90
Поперечно-полосатая мускулатура	31,56	79,52	3,35	16,50	0,93
Головной и спинной мозг	2,52	73,33	12,68	12,06	1,37
Печень	3,41	71,46	10,35	16,19	0,88
Сердце	0,69	73,69	9,26	15,88	0,80
Лёгкие	4,15	83,74	1,54	13,38	0,95

В то время как неорганические вещества встречаются и в неживой природе, органические соединения характерны только для живых организмов. К таким соединениям относят белки, жиры, углеводы, нуклеиновые кислоты, витамины, гормоны, АТФ. Процентный состав их (а также воды) представлен в таблице 9.



Рис. 104. Уменьшение с возрастом содержания воды в организме человека

ВОДА, ЕЁ КОЛИЧЕСТВО И ВОДНЫЙ БАЛАНС В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА. Выдающийся немецкий физиолог Э. Д. Раймон писал: «Жизнь — это одушевлённая вода». Данные таблицы 9 как нельзя лучше подтверждают это высказывание.

Трёхдневный человеческий зародыш на 97% состоит из воды, трёхмесячный — на 91%, восьмимесячный — на 81%, новорождённый ребёнок — на 80%, годовалый — на 70%. В организме взрослого человека воды немного мень-

ше — 68%. При старении этот процент уменьшается до 60—65% (рис. 104).

Без пищи человек может прожить около месяца, если во время этой голодовки будет потреблять жидкость, а без воды он погибнет через несколько дней. Взрослый человек для поддержания своей жизни должен получать около 2,5 л воды в сутки, за 60 лет в среднем выпивается 50 т воды — целая железнодорожная цистерна.

При нормальных условиях организм здорового человека находится в состоянии водного равновесия, т. е. количество потребляемой и образующейся в организме воды равно выделяемой. Нарушение этого равновесия приводит к тяжёлым последствиям.

ФУНКЦИИ ВОДЫ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА. Как вы уже знаете из курса 10 класса, вода играет большую роль в организации жизни на Земле. Напомним основные функции воды применительно к человеку.

Вода — *транспортное средство* для циркулирующих в теле клеток крови, она же обеспечивает транспортировку всех веществ в пределах организма. Все жизненные процессы протекают с участием воды, они связаны с её постоянным перераспределением и перемещением. Процессы пищеварения, обмена веществ, кроветворения, синтеза тканей совершаются в водных растворах и с участием воды. Она доставляет в органы человеческого тела химические вещества, участвующие в координации физиологических и биохимических процессов, осуществляемых через жидкие среды организма. Вода играет важную роль и в газообмене, так как растворяет кислород и углекислый газ. Ядовитые шлаки удаляются из нашего организма только в водной среде.

Вода *приводит в действие ионные насосы*, так как свободно проходит через мембраны и обеспечивает перемещение ионов натрия и калия в обоих направлениях по всей длине нервных отростков, что обеспечивает нейротрансдукцию в головном и спинном мозге, а также в нервах. Вода транспортирует в клетку натрий, а калий выво-



Рис. 105. Терморегуляция у бегущего спортсмена осуществляется через кожу

дит, за счёт этого и создаётся разность потенциалов в 60 мВ. На клеточных мембранах располагаются сотни тысяч ионных насосов, генерирующих напряжение.



Вода
Благоволила
Литься!

Она
Блистала
Столь чиста,
Что — ни напиться,
Ни умыться,
И это было неспроста.

Ей не хватало
Ивы, тала
И горечи цветущих лоз.

Ей водорослей не хватало
И рыбы, жирной от стрекоз.
Ей не хватало быть волнистой,
Ей не хватало течь везде.

Ей жизни не хватало —
Чистой
Дистиллированной воде!

Л. Мартынов

Вода *регулирует температуру нашего тела*, осуществляя теплопередачу с поверхности кожи (рис. 105), а также путём испарения пота.

Вода *участвует в обменных процессах организма*. Как вы помните, реакции гидролиза белков, жиров и углеводов — это химическая основа обмена веществ в организме, а реакции гидролиза АТФ — это химическая основа обмена энергии. Без обмена веществ и энергии немыслима сама жизнь.

В стихотворении Мартынова отражена не вся диалектика: при продолжительном употреблении дистиллированная вода вредна для организма, так как вымывает из клеток желудка и кишечника полезные соли, необходимые для нормальной жизнедеятельности. Однако без дистиллированной воды не будет целой промышленности, работающей на здоровье человека, — фармацевтической, ведь все лекарственные и медицинские растворы готовятся на дистиллированной воде.

МИНЕРАЛЬНЫЕ ВЕЩЕСТВА. Минеральные вещества присутствуют в клетках в виде нерастворимых солей (например, основное количество

кальция и фосфора содержится в костях в форме гидроксофосфата кальция $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) или в форме молекул и ионов (например, соляная кислота желудка необратимо диссоциирует как сильный электролит на ионы H^+ и Cl^-) содержатся в жидких средах организма (табл. 10).

Напомним, что осмотическое давление — это избыточное давление на клеточные жидкости, отделённые от внеклеточных жидко-



Рис. 106. Здоровые зубы — признак здорового человека

КОНЦЕНТРАЦИЯ ИОНОВ В ЖИДКИХ СРЕДАХ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

Исследуемая жидкость	Концентрация ионов							
	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻	HCO ₃ ⁻
Плазма крови	142	5	5	1,1	103	1	2	27
Спинномозговая жидкость	142	3	2,5	2	124	—	—	21
Грудное молоко	14	16	17	3	11	—	6	—
Внутриклеточная жидкость (поперечно-полосатая мускулатура)	10	160	—	35	2	—	140	8
Межклеточная жидкость	144	5	2,5	1,5	144	1	2	30
Пот	75	5	5	—	75	—	—	0
Сок поджелудочной железы	148	7	6	0,3	80	8,4	—	80

стей полупроницаемой мембраной, при котором прекращается диффузия внеклеточных веществ.

Основное значение минеральных веществ заключается в поддержании определённых физико-химических условий во внутренней среде организма (в поддержании кислотно-щелочного равновесия, осмотического давления клеточных и внеклеточных жидкостей, водно-солевого обмена, системе свёртывания крови, регуляции многочисленных ферментных реакций), а также в формировании и сохранении структур плотных тканей (скелета) (рис. 106). О роли соединений кальция, например, в организме человека замечательно написала поэтические строчки Вера Инбер в «Пулковском меридиане» — о ленинградцах-блокадниках.

...Ох! День ото дня
Из наших клеток исчезает кальций.
Слабеет.

В. Инбер



ЗАБОЛЕВАНИЯ, СВЯЗАННЫЕ С НЕДОСТАТКОМ ИЛИ ИЗБЫТКОМ НЕКОТОРЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА. Установлено, что многие биологические катализаторы — *ферменты* — содержат ионы переходных металлов (*d*-элементов). Например, известно, что марганец входит в состав 12 различных ферментов, железо — в состав 70, медь — в состав 30, а цинк — в состав более чем 100 ферментов.

Недостаток в организме *железа* приводит к анемии (малокровию), так как оно входит в состав гемоглобина крови, а точнее его небелковой части — гема. У взрослого человека в крови содержится около 2,6 г железа. Для восполнения железа, потерянного с распадом гемоглобина, человеку необходимо суточное поступление в организм с пищей в среднем около 12 мг этого элемента. Связь анемии с недостатком железа была известна врачам давно, ещё в XVII в. в некоторых европейских странах при малокровии прописывали настой железных опилок в красном вине. Однако избыток железа в организме тоже вреден. С ним связан сидероз глаз или лёгких — заболевание, вызываемое отложением соединений железа в тканях этих органов. Главный регулятор содержания железа в крови — печень.

Недостаток в организме *меди* приводит к нарушению стенок кровеносных сосудов, патологическому росту костей, дефектам в соединительных тканях. Кроме того, считают, что дефицит меди служит одной из причин раковых заболеваний. В некоторых случаях поражение лёгких раком у людей пожилого возраста врачи связывают с возрастным снижением содержания меди в организме. Избыток же меди приводит к нарушению психики и параличу некоторых органов (болезнь Вильсона). Человеку причиняют вред лишь относительно большие количества соединений меди. В малых дозах их используют в медицине как вяжущее и бактериостатное (задерживающее рост и размножение бактерий) средство. Так, например, сульфат меди (II) применяют при лечении конъюнктивитов в виде глазных капель (25% -й раствор), а также для прижиганий при трахоме в виде глазных карандашей (сплав сульфата меди (II), нитрата калия, квасцов и камфары). При ожогах кожи фосфором проводят её обильное смачивание 5% -м раствором сульфата меди (II).

В таблице 11 приведены симптомы, возникающие при дефиците в организме человека разных химических элементов.

ТАБЛИЦА 11
ХАРАКТЕРНЫЕ СИМПТОМЫ ПРИ ДЕФИЦИТЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
В ОРГАНИЗМЕ ЧЕЛОВЕКА

Химический элемент	Симптомы
Ca	Замедление роста скелета
Mg	Мышечные судороги
Fe	Анемия, нарушение иммунной системы
Zn	Повреждение кожи, замедление роста и полового созревания
Cu	Слабость артерий, нарушение деятельности печени, вторичная анемия
Mn	Бесплодие, ухудшение роста скелета

Химический элемент	Симптомы
Mo	Замедление клеточного роста, склонность к кариесу
Co	Злокачественная анемия
Ni	Депрессии, дерматиты
Cr	Признаки диабета
Si	Нарушение роста скелета
F	Кариес зубов
I	Нарушение работы щитовидной железы, замедление метаболизма
Se	Мышечная (в частности, сердечная) слабость

Основные классы органических веществ (белки, жиры, углеводы, нуклеиновые кислоты) и их значение были рассмотрены при изучении уровней организации жизни на Земле. Биологические функции веществ этих классов характерны для всех живых организмов, включая человека.



Другие биологически активные вещества — гормоны, витамины и лекарства — будут рассмотрены далее в отдельных параграфах.

Теперь вы знаете

- ▶ каков химический состав тела человека
- ▶ функции воды в организме человека
- ▶ значение минеральных веществ
- ▶ какие заболевания связаны с недостатком или избытком некоторых химических элементов в организме человека

Теперь вы можете

- ▶ перечислить химические элементы, которые содержатся в организме человека
- ▶ привести примеры макроэлементов, микроэлементов и ультрамикроэлементов в организме человека
- ▶ назвать заболевания, связанные с недостатком или избытком разных химических элементов в нашем организме

Выполните задания

1. Объясните, какие элементы называют биогенными и почему они расположены в I—IV периодах таблицы Д. И. Менделеева.

2. Определите, какие биогенные элементы по их содержанию в организме человека являются макроэлементами, какие — микроэлементами, какие — ультрамикроэлементами.
3. Охарактеризуйте роль воды в жизнедеятельности организма человека.
4. Проанализируйте значение минеральных веществ для человеческого организма.
5. Перечислите симптомы, появляющиеся у людей с дефицитом разных химических элементов.
6. Сформулируйте, что такое гуморальная регуляция жизнедеятельности организма человека. Как углекислый газ выступает в роли гуморального фактора?

☉ Темы для рефератов

1. Биохимия: история её развития, современные достижения.
2. Биологическая роль белков, жиров и углеводов в организме человека.
3. Химические элементы в организме человека и животных.

§ 24. Витамины

1. Приведите примеры растений, богатых витаминами С, К, группы В.
2. Назовите продукты животного происхождения, в которых много витаминов А, Е, D.
3. Перечислите витамины, которые вы принимали, и объясните, с какой целью.

В своём произведении «Ошибка господ бога» (1911) Джек Лондон рисует яркую картину того, как от истощения, вызванного цингой, гибнут люди, несмотря на то что у них имеется достаточный запас пищи.

В этом маленьком отрывке из рассказа (см. с. 177) ясно показана причина заболевания: отсутствие в консервированных продуктах веществ, известных сейчас даже малым детям, — витаминов. А вот Джек Лондон этот термин использовать не мог, и это совершенно понятно, поскольку только в следующем, 1912 г. была опубликована статья польского биохимика

— Дайте что-нибудь принять...
Витамины, что ли...
Слабость чувствовал опять
Я сегодня в школе.
Мать меняется в лице,
Витамины А, В, С
Предлагает Пете.
(Витамины А, В, С
Очень любят дети.)

А. Барто

Вместо ответа человек показал на свой рот, с усилием растянул вспухшие, почернелые губы, и Смок невольно отшатнулся.

— Цинга, — негромко сказал он Малышу, и большой кивком подтвердил диагноз.

— Еды хватает? — спросил Малыш.

— Ага, — отозвался человек с другой койки. — Можете взять.

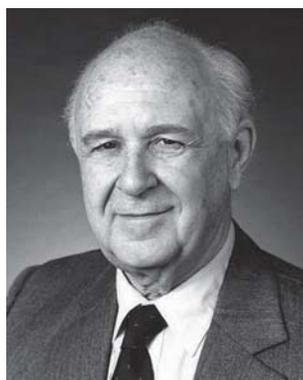
Еды полно.



Дж. Лондон

К. Функа (1884—1967), в которой впервые было введено это понятие. Его название произошло от латинского слова *vita* — «жизнь», т. е. «амин жизни», хотя большинство витаминов к классу органических соединений, называемых аминами, не относится.

И всё-таки мы с гордостью должны констатировать, что основоположником учения о витаминах является наш соотечественник, врач **Н. И. Лунин** (1853—1937), который ещё в 1880 г. защитил докторскую диссертацию «О значении неорганических соединений для питания животных» в Юрьевском (Тартуском) университете. В диссертации и последующих статьях Лунин показал, что мыши быстро гибнут, если их кормить пищей, составленной из казеина, молочного жира, сахарозы и дистиллированной воды, однако продолжают здравствовать, если добавлять в рацион натуральное молоко. Из этого наблюдения ученый сделал вывод, что в молоке содержатся ещё какие-то вещества, необходимые для жизни, — **витамины**, как мы их сейчас называем.



Казимир Функ

***Витамины** — это низкомолекулярные органические соединения различной химической природы, выполняющие важнейшие биохимические и физиологические функции в живых организмах.*

В настоящее время известно свыше 30 соединений, относящихся к этой группе биологически активных веществ.

БОЛЕЗНИ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ВИТАМИННОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТЬЮ ИЛИ ИЗБЫТОЧНОСТЬЮ. Полное отсутствие в организме какого-либо



Николай
Иванович Лунин



Рис. 107. Болезни, вызванные авитаминозом:
а — цинга; *б* — рахит;
в — бери-бери

витамина служит причиной **авитаминоза** — тяжёлого заболевания организма. Названия болезней, вызванных авитаминозами, пугают: цинга (рис. 107, *а*), рахит (рис. 107, *б*), куриная слепота, пеллагра, бери-бери (рис. 107, *в*).

Чаще встречаются случаи частичной недостаточности витамина — **гиповитаминозы**, которые проявляются лёгким недомоганием, быстрой утомляемостью, пониженной работоспособностью, повышенной раздражительностью, снижением сопротивляемости организма к инфекциям.

Снабжение организма витаминами приобретает особое значение в конце зимы и весной, когда организм истощает свои ресурсы витаминов и значительно снижена витаминная кладовая продуктов питания.

Причинами гиповитаминозов могут быть:

- однообразное и, как правило, неполноценное питание;
- ограниченное питание в период религиозных постов;
- повышенная потребность в витаминах в период беременности и кормления, а также роста организма и т. д.;
- различные заболевания, разрушающие всасывание или усвоение витаминов.

Вредна и другая крайность — избыток витаминов. При избыточном их потреблении развивается отравление (интоксикация) организма, получившее название **гипервитаминозов**. Гипервитаминоз часто наблюдается у молодых людей, которые занимаются столь модным сейчас культуризмом — бодибилдингом и нередко неумеренно потребляют пищевые добавки и витамины.

НОРМЫ ВИТАМИНОВ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА. Так как химическая природа витаминов была открыта после установления их биологической роли, витамины условно обозначили буквами латинского алфавита (А, В, С, D и т. д.), что сохранилось до настоящего времени.

В качестве единицы измерения витаминов пользуются миллиграммами (мг), микрограммами (мкг) или миллиграммами витамина на 100 г продукта (мг%). Потребность человека в витаминах зависит от

его возраста, состояния здоровья, условий жизни, характера деятельности, времени года, содержания в пище основных необходимых компонентов. Сведения о потребности взрослого человека в витаминах приведены в таблице 12.

Таблица 12
СУТОЧНАЯ ПОТРЕБНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА В ВИТАМИНАХ
И ИХ ОСНОВНЫЕ ФУНКЦИИ

Витамин	Суточная потребность, мг	Функции
Аскорбиновая кислота (витамин С)	50—100	Участвует в окислительно-восстановительных реакциях, повышает сопротивляемость организма экстремальным воздействиям
Тиамин (аневрин, витамин В ₁)	1,4—2,4	Необходим для нормальной деятельности центральной и периферической нервной системы, регулятор жирового и углеводного обменов
Рибофлавин (витамин В ₂)	1,5—3,0	Участвует в окислительно-восстановительных реакциях
Пиридоксин (витамин В ₆)	2,0—2,2	Участвует в синтезе и метаболизме аминокислот, метаболизме жирных кислот и ненасыщенных липидов
Ниацин (витамин РР)	15—25	Участвует в окислительно-восстановительных реакциях в клетках (недостаток вызывает пеллагру)
Фолиевая кислота (фолацин, витамин В ₉)	0,2	Фактор кроветворения, переносчик одноуглеродных радикалов, участвует в синтезе аминокислот, нуклеиновых кислот, холина
Цианокобаламин (витамин В ₁₂)	0,002—0,005	Участвует в биосинтезе нуклеиновых кислот, холина, лецитина; фактор кроветворения, обладает липотворным действием
Биотин (витамин Н)	0,050—0,3	Участвует в реакциях карбоксилирования, обмена аминокислот, липидов, углеводов, нуклеиновых кислот
Пантотеновая кислота (витамин В ₅)	5—10	Участвует в реакциях биохимического ацилирования, обмена белков, липидов, углеводов

Витамин	Суточная потребность, мг	Функции
Холин (витамин В ₄)	250—600	Участвует в синтезе биологически важных соединений
Ретинол (витамин А)	0,5—2,5	Участвует в деятельности мембран клеток, в процессе фоторецепции (в восприятии света), необходим для роста и развития организма, для функционирования слизистых оболочек
Кальциферол (витамин D)	0,025—0,01	Регулирует содержание кальция и фосфора в крови, минерализацию костей, зубов

По растворимости в воде или жирах витамины делят на две группы: *водорастворимые* (В₁, В₂, В₆, РР, С и др.) и *жирорастворимые* (А, Е, D, К).

ВОДОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ НА ПРИМЕРЕ ВИТАМИНА С. Рассмотрим сначала группу водорастворимых витаминов. Витамин С — это витамин над витаминами. Он единственный связан напрямую с белковым обменом. Если в организм человека поступает мало аскорбиновой кислоты, требуется много белка, и напротив, при хорошей обеспеченности аскорбиновой кислотой можно обойтись минимальным количеством белка в пище.

Витамин С способствует увеличению сопротивляемости организма к простудным заболеваниям, к различным видам стрессов.

Особенностью витамина С является его быстрая окисляемость: весь витамин в организме может окислиться за 14—16 дней, что доказывает необходимость его постоянного потребления.

Наиболее богаты витамином С такие продукты, как шиповник (1200 мг%), зелёный и красный болгарский перец (400—6001 мг%), чёрная смородина (200 мг%), цитрусовые (60—100 мг%), овощи, фрукты (рис. 108). Значит, чтобы бороться с витаминной недостаточностью, необходимо повысить содержание свежих овощей и фруктов в пищевом рационе.

Болезнь, вызванная острым недостатком этого витамина, называется цинга. Она проявляется точечными кровоизлияниями на теле, на внутренних органах, кровоточивостью дёсен, выпадением зубов, одышкой, болями в области сердца.

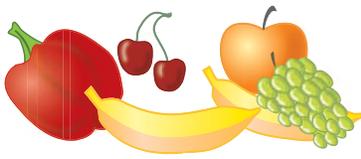
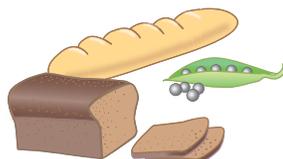
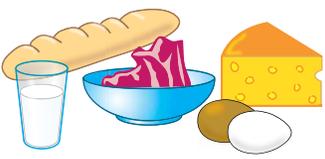
<p>С</p> $\text{HO}-\text{CH}_2-\overset{\text{HO}}{\underset{\text{H}}{\text{C}}}-\overset{\text{H}}{\text{C}}-\overset{\text{HO}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}=\overset{\text{H}}{\text{C}}-\text{C}=\text{O}$ <p>Аскорбиновая кислота</p>	
<p>В₁</p> $\left[\begin{array}{c} \text{N} \\ \text{H}_3\text{C} \end{array} \text{---} \text{CH}_2 \text{---} \overset{\text{CH}_3}{\text{N}^+} \text{---} \begin{array}{c} \text{S} \\ \text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH} \end{array} \right] \text{Cl}^-$ <p>Тиаминхлорид</p>	
<p>В₂</p> $\text{H}_3\text{C} \text{---} \text{C}_5\text{H}_3 \text{---} \text{N} \text{---} \text{CH}_2-(\text{CHOH})_3-\text{CH}_2\text{OH}$ <p>Рибофлавин</p>	
<p>А</p> $\text{CH}_3 \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{C}(\text{CH}_3)_2 \text{---} \text{C}(\text{CH}_3)=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}=\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2\text{OH}$ <p>Ретинол</p>	
<p>D</p> $\text{OH} \text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{C}(\text{CH}_3)=\text{C}(\text{CH}_2\text{---} \text{C}_6\text{H}_4 \text{---} \text{R})$ <p>Кальциферол</p>	

Рис. 108. Продукты питания, в которых содержатся витамины С, В₁, В₂, А, D

Для предотвращения заболевания цингой эксперты оценили потребность человека в витамине С в 10—30 мг в сутки. Однако нормы, принятые сейчас во многих странах, превышают эту дозу в 3—5 раз, поскольку витамин С служит и для других целей. Чтобы создать в организме оптимальную внутреннюю среду, способную противостоять многочисленным неблагоприятным воздействиям, необходимо постоянно обеспечивать организм витамином С; это, кстати, способствует и высокой работоспособности.

ЖИРОРАСТВОРИМЫЕ ВИТАМИНЫ НА ПРИМЕРЕ ВИТАМИНА А (РЕТИНОЛА). Жирорастворимые витамины обладают рядом особенностей. Во-первых, жирорастворимые витамины, что следует из их названия, растворяются в жирах и поэтому усваиваются организмом только в присутствии жиров и желчи. Во-вторых, они способны накапливаться в организме при поступлении в него в больших количествах, что может привести к развитию гипervитаминоза. В этом отношении избыточные дозы жирорастворимых витаминов более опасны, чем водорастворимых. В-третьих, многие жирорастворимые витамины имеют по несколько аналогов с близкой структурой и идентичным биологическим действием. Так, у витаминов А и К обнаружено по 2 аналога, у витамина Е — 4, а у витамина D — 10.

Витамин А участвует в биохимических процессах, связанных с деятельностью мембран клеток. При его недостатке ухудшается зрение (ксерофтальмия — сухость роговых оболочек; куриная слепота), замедляется рост молодого организма, особенно костей, наблюдается повреждение слизистых оболочек дыхательных путей, пищеварительной системы. Этот витамин обнаружен только в продуктах животного происхождения, особенно много его в печени морских животных и рыб. Содержание его (в мг%) в рыбьем жире — 15, в печени трески — 4, сливочном масле — 5, молоке — 0,025. Потребность человека в витамине А может быть удовлетворена и за счёт растительной пищи, в которой содержатся его провитамины — каротины. Из молекулы β-каротина образуется две молекулы витамина А. Больше всего β-каротина (в мг%) в моркови — 9,0, красном перце — 2, помидорах — 1, сливочном масле — 0,2—0,4 (см. рис. 108).

Витамин А разрушается под действием света, кислорода воздуха, при термической обработке (30%).

Недостаток витамина А в организме приводит к нарушению роста и к заболеваниям глаз. У человека одним из ранних симптомов недостаточности витамина А является куриная слепота, т. е. нарушение зрения в сумеречном свете.



Далее мы поговорим о гормонах, которые осуществляют координацию и регулировку деятельности всех органов в нашем организме.

Теперь вы знаете

- ▶ какие болезни вызываются витаминной недостаточностью
- ▶ нормы витаминов для человека
- ▶ как классифицируют витамины
- ▶ роль витамина С (аскорбиновой кислоты) для здоровья человека
- ▶ роль витамина А (ретинола) для здоровья человека

Теперь вы можете

- ▶ определить, в чём разница между авитаминозом, гиповитаминозом и гипервитаминозом
- ▶ назвать заболевания, вызванные недостатком в организме витаминов С, А, D
- ▶ перечислить процессы жизнедеятельности в организме, в которых принимают активное участие витамины С и А

Выполните задания

1. Объясните, что такое витамины и на какие группы они делятся.
2. Перечислите продукты, которые богаты витаминами С; А; D.
3. Назовите способы сохранения витаминов в овощах и фруктах при их кулинарной обработке и консервировании.
4. Проанализируйте таблицу 12 и определите, в каких витаминах самая большая суточная потребность у человека.

Темы для рефератов

1. Поливитамины: их виды, нормы, польза и опасность бесконтрольного применения.
2. Растения как источник витаминов.
3. Бери-бери и открытие витамина В₁.
4. Научная деятельность Н. И. Лунина.

§ 25. Гормоны

1. Назовите литературные произведения, в которых героями являются великаны и карлики.
2. Объясните, какие заболевания лечит врач-эндокринолог.

ОСНОВНАЯ ФУНКЦИЯ ГОРМОНОВ. У людей, знакомых с биологией, функция гормонов в живых организмах ассоциируется с ролью дирижёра-виртуоза в большом симфоническом оркестре. Дирижёр координирует работу оркестровых групп всего большого коллектива музыкантов, каждый из которых хорошо знает свою партию, мастерски владеет инструментом. Однако очевидно, что без дирижёра исполнение музыкального произведения очень быстро превратится в бессмысленное чередование звуков, а гениальная музыка — в ужасную како-

фонию. Любой живой организм — сложнейшая и уникальная система органов и тканей, каждая из которых выполняет свою неотъемлемую и специфическую функцию. Как же осуществляется координация и согласование работы всех органов и систем живого организма? Что выполняет роль той самой дирижёрской палочки, которая подчиняет единой цели и синхронизирует ювелирную биологическую работу каждого органа и их систем? Эту важнейшую функцию и выполняют вещества, вырабатываемые железами внутренней секреции (или эндокринными, как их называют врачи), они называются **гормонами** (от греч. *hormao* — приводить в движение, побуждать).

***Гормоны** — это биологически активные органические вещества, которые вырабатываются железами внутренней секреции и регулируют деятельность органов и тканей живого организма.*

Как вы уже знаете из курса биологии основной школы, жизнедеятельность любого организма регулируется с помощью двух систем — нервной и **гуморальной** (от лат. *humor* — жидкость).

***Гуморальная регуляция** — один из механизмов координации процессов жизнедеятельности организма, который осуществляется через его жидкие среды (прежде всего, через кровь) с помощью химических веществ (в первую очередь гормонов).*

Как известно, железы, вырабатывающие продукты — секреты, делятся на две группы: *эндокринные* (или железы внутренней секреции), не имеющие выводного протока, и *экзокринные*, снабжённые выводным протоком.

Большая часть желёз человека — эндокринные и выводных протоков не имеют. Именно такие железы вырабатывают гормоны, поступающие в кровеносные сосуды. По ним гормоны движутся, пока не попадут «в цель» — в те клетки организма, для воздействия на которые они и вырабатываются.

КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРМОНОВ ПО ЖЕЛЕЗАМ, КОТОРЫЕ ИХ ПРОДУЦИРУЮТ. «Специализация» гормонов. В крови высших животных и человека циркулирует около 50 гормонов. Классифицировать их можно по различным признакам. Проще всего группировать гормоны по отдельным железам внутренней секреции, которые их продуцируют, например:

- 1) щитовидная железа вырабатывает тироксин;
- 2) поджелудочная железа — инсулин и глюкагон;

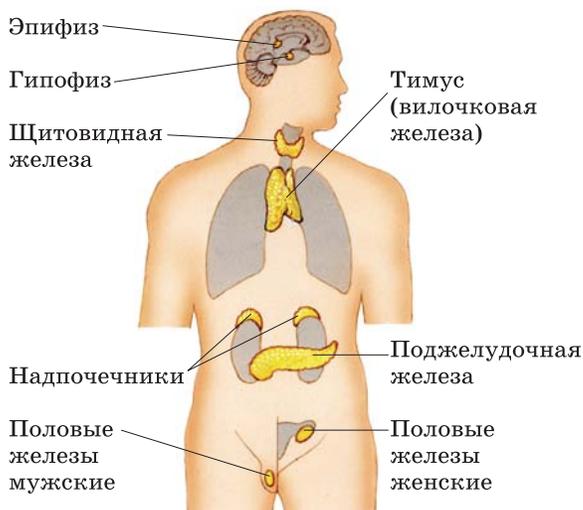


Рис. 109. Эндокринная система человека

3) надпочечники — адреналин и норадреналин, а наружные отделы надпочечников (корковый слой) — целый набор гормонов (кортикостерон и др.);

4) семенники и яичники — половые гормоны (тестостерон и эстроген);

5) гипофиз — это мозговой придаток, один из самых маленьких органов человеческого тела, размером с горошину.

Гипофиз является главным регулятором эндокринной системы (рис. 109). Эта железа внутренней секреции — придаток мозга, соединённый с ним коротким протоком. Гипофиз разделён на две основные части — переднюю и заднюю доли, а деятельность его контролируется гипоталамусом — участком мозга, отвечающим за нервную и эндокринную системы человека. Передняя доля гипофиза вырабатывает 6 основных гормонов, задняя — 2 гормона.

Регулирование гормональной системы человека представляет собой очень тонкий процесс. Железы, вырабатывающие гормоны, тесно взаимодействуют между собой и с нервной системой организма. И гормональная, и нервная системы рассылают по телу особые вещества — химические переносчики информации (*медиаторы*), у каждого из которых своя скорость передвижения и механизм действия (рис. 110).

Наиболее быстро передают информацию нервные клетки, это движение можно по скорости сравнить с электрическим импульсом. Достаточно быстро действует гормон опасности и страха — *адреналин* (рис. 111).



Рис. 110. В. И. Суриков. Смеющаяся девушка. Этюд для картины «Взятие снежного городка». 1890



Рис. 111. М. В. Якунчикова. Страх. 1893—1895

Адреналин вырабатывается надпочечной железой человека, когда тот находится в большом напряжении, и немедленно действует на нервную систему. Адреналин готовит организм к тому, чтобы противостоять опасности или избежать её. Учащается дыхание и частота сердечных сокращений, расширяются зрачки, выделяется пот, мышцы приходят в состояние повышенной активности. Намного медленнее функционируют гормоны, воздействующие на какой-либо орган, например *окситоцин* (вырабатывается гипофизарной железой), отвечающий за выделение грудного молока кормящей матери. Ещё медленнее действуют гормоны, регулирующие такие процессы, как рост человека (*соматотропин*) или половое созревание (*эстрадиол*, *тестостерон*).

Часть гормонов оказывает действие на системы организма, находящиеся на значительном удалении от вырабатывающей гормон железы. Например, гормон *инсулин*, регулирующий содержание сахара в крови, вырабатывается поджелудочной железой и с током крови попадает во все участки человеческого тела. Напротив, к гормонам локального действия относится *секретин*. Он вырабатывается в двенадцатиперстной кишке в ответ на попадание в организм пищи. Секретин, преодолев по кровеносной системе совсем малое расстояние, поступает в расположенную рядом поджелудочную железу и за-

ставляет её вырабатывать желудочный сок, содержащий пищеварительные ферменты.

Другой гормон местного действия — *ацетилхолин* — вырабатывается нервными окончаниями и вызывает сокращение мышц после получения соответствующего нервного сигнала.

Когда гормон завершает свою работу, он либо дезактивируется внутри клетки, либо поступает в печень, где расщепляется и выводится из организма или используется для производства новых молекул гормонального вещества.

Недостаточное или избыточное выделение гормонов приводит к эндокринным заболеваниям.



Когда человек боится —
Выделяет адреналин.
Это знают собаки
И, лая, бегут за ним.
Когда ты вбегаешь в комнату
В черёмуховом платье,
За тобой залетают осы —
Ты выделяешь счастье.
Я знаю одного приятеля
С тухлым взглядом деяги.
Над ним всё летают мухи —
Зависть он выделяет.

А. Вознесенский

СВОЙСТВА ГОРМОНОВ. Понятно, что, выполняя столь многочисленные и разнообразные функции, гормоны обладают соответствующим набором характерных свойств, важнейшие из которых:

— *чрезвычайно высокая физиологическая активность* — возможность очень малыми количествами гормонов производить весьма значительные изменения в работе органов и тканей (например, 1 г экдизона может вызвать линьку у $2 \cdot 10^8$ особей насекомых);

— *дистанционное действие* — способность регулировать работу органов, удалённых от железы, вырабатывающей гормон (это становится возможным, потому что гормоны доставляются к этим органам через кровь);

— *быстрое разрушение в тканях* (оказывая очень сильное влияние на работу органов и тканей, гормоны не должны накапливаться в них);

— *непрерывное продуцирование* (секреция) соответствующей железой (вызвано необходимостью постоянного регулирования, более или менее сильного воздействия на работу соответствующего органа в каждый момент времени).

Из анализа характерных свойств гормонов как мощного средства гуморальной регуляции ясно, что их образование эндокринными железами должно в каждый момент времени точно соответствовать состоянию организма. Обеспечение этого соответствия осуществляется по принципу обратной связи: не только гормон влияет на контролируемую систему органов и процессы в ней, но и состояние самой системы определяет производительность соответствующей железы, скорость образования и количество вырабатываемого гормона. Например, снижение концентрации глюкозы в крови тормозит секрецию инсулина и ускоряет секрецию глюкагона (гормона, стимулирующего рост кон-

центрации глюкозы в крови). Таким образом, благодаря принципу обратной связи именно гормоны обеспечивают **гомеостаз** в организме.

Гомеостаз — это постоянство состава внутренней среды организма, контроль и регулирование содержания в нём воды, углеводов, электролитов и т. п.

КЛАССИФИКАЦИЯ ГОРМОНОВ ПО ИХ ХИМИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ. Гормоны классифицируют также по химической природе. Различают гормоны: белковой (пептидной) природы (инсулин, глюкагон); стероидной (сложной циклической) структуры (эстрогены, андрогены); производные аминокислот (адреналин, норадреналин).

Типичный представитель **белковых (пептидных) гормонов** — инсулин. Он вырабатывается в особых образованиях — островковом аппарате поджелудочной железы (островки Лангерганса), что доказали работы русского физиолога **Л. В. Соболева** (1876—1921). Своё название гормон получил от латинского слова *insula* — «остров». Островки Лангерганса продуцируют также и глюкагон.

Гипофункция островкового аппарата поджелудочной железы проявляется в повышении сахара в крови, в заболевании сахарным диабетом. Первые упоминания о сахарном диабете историки медицины находят ещё в древних медицинских трактатах Индии, Китая. Дальнейшее его изучение показало, что один из главнейших симптомов диабета — выделение больших количеств сахара с мочой, обезвоживание организма. Ткани утрачивают способность усваивать сахар, начинают вместо этого расходовать жиры и белки, человек худеет. При этом окисление жиров сопровождается образованием токсичных продуктов — так называемых кетоновых тел. Истощение и интоксикация приводят в конечном счёте к гибели больного.

Инсулин оказался первым белком, который удалось синтезировать химическим путём, а также одним из первых фармацевтических препаратов, промышленный способ выпуска которых был освоен с помощью методов генной инженерии.

Гиперфункция поджелудочной железы заключается в возможном возникновении шока в результате снижения содержания глюкозы в крови.

К гормонам белковой природы относится и гормон роста — **соматотропин**. Он воздействует на клетки всего организма человека, стимулируя их увеличение в период формирования и замещение после изнашивания. Значительные отклонения от среднего роста (рис. 112) могут быть вызваны заболеванием гипофиза. Самым высоким человеком в мире был Роберт Вадлоу, его рост составлял 2 м 72 см. Вадлоу родился в 1918 г. и прожил всего 22 года. Его смерть связывают со сбоем в работе гормонального аппарата — аномальном образовании соматотропина в организме. Самым маленьким человеком был китаец Хэ

Пинпин — 74,6 см. Он родился в 1988 г. и прожил 21 год. В настоящее время самым маленьким является непалец Хагендра Тапа Магар, его рост всего 56 см.

Группу **стероидных гормонов** представляют **эстрадиол** (женский половой гормон) и **тестостерон** (мужской половой гормон). Различие в их химическом строении очень невелико (мы не приводим химические формулы этих гормонов из-за их сложности), но специфичность действия на организм колоссальная. Эстрадиол вырабатывается яичниками, регулирует функции половых органов и появление вторичных половых признаков у женщин. Тестостерон вырабатывается семенниками и определяет функции половых органов и вторичные половые признаки у мужчин.

К **аминокислотным гормонам** относится **адреналин**. Как вы уже знаете, этот гормон вырабатывается в надпочечниках. Гипофункция надпочечников выражается в понижении кровяного давления, понижении содержания глюкозы в крови, уменьшении времени свёртываемости крови. Гиперфункция — в сокращении капилляров, повышении содержания глюкозы в крови.



В следующем параграфе будет рассмотрена ещё одна группа биологически активных веществ — лекарственные препараты.



Рис. 112. Гигантизм и карликовость

Теперь вы знаете

- ▶ в чём заключается основная функция гормонов
- ▶ какова классификация гормонов по железам, которые их вырабатывают, и по химической природе

Теперь вы можете

- ▶ определить, что такое гормоны и каковы их основные функции в организме человека
- ▶ перечислить основные свойства гормонов и группы, на которые они делятся по своей химической природе

☉ Выполните задания

1. Назовите основные железы внутренней секреции и вырабатываемые ими гормоны.
2. Сделайте предположение, к каким негативным последствиям может привести продолжительное повышение содержания адреналина в крови.
3. При диабетической коме — тяжёлом осложнении сахарного диабета — человек теряет сознание, возникает угроза жизни. Симптомами приближения комы являются вялость, сонливость, упадок сил, резкое ухудшение самочувствия. Изучите этот вопрос и предложите меры первой доврачебной помощи больному при приближении комы.
4. В приведённом в параграфе стихотворении А. Вознесенского говорится о гормонах счастья, радости, зависти. Решите, верно ли с биологической точки зрения такое толкование поэта или это лишь художественный образ. Обоснуйте свою точку зрения.
5. Напишите синквейн об одном из гормонов по своему выбору.

☉ Темы для рефератов

1. История открытия и изучения гормонов.
2. Фитогормоны — гормоны растений.
3. Эндорфины — «гормоны счастья».
4. Вклад Л. В. Соболева в изучение проблемы сахарного диабета.

§ 26. Лекарства

1. Назовите знаменитого древнегреческого врача, чьё имя связывают с клятвой, которую дают студенты-медики.
2. Расскажите, о каком научном открытии микробиолога Татьяны Власенковой идёт речь в романе В. Каверина «Открытая книга».
3. Вспомните, кто и как создал прививку от оспы.

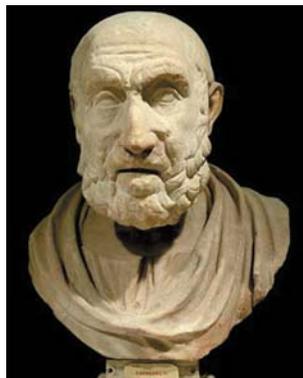
ФАРМАКОЛОГИЯ АНТИЧНОСТИ И СРЕДНЕВЕКОВЬЯ. Лекарства известны человеку с глубокой древности. В одном из египетских папирусов (XVII в. до н. э.) описываются лекарственные средства растительного происхождения, некоторые из них (например, касторовое масло) используются и в наши дни.

Древнегреческий врач **Гиппократ** (460—370/356 до н. э.) искал причины болезней уже не в злых духах, а в окружающей среде, климате, образе жизни и питании. Именно он «приземлил» медицину, призывая лечить не болезнь, а больного. Он создал учение о четырёх жизненных жидкостях — крови, слизи, чёрной и жёлтой желчи, преобладание одной из которых в организме и определяет, по Гиппократу, темперамент человека. Так, *сангвник* (от лат. *sanguinis* — кровь) — человек общительный, быстрый, легко меняющийся, подвижный, «текучий», с богатой мимикой и жестами; *флегматик* (от лат. *phlegma* — слизь) — медлительный, «вязкий», невозмутимый, спокойный, не проявляющий чувств; *холерик* (от лат. *chole* — желчь) — неуравновешенный, вспыльчивый, несдержанный; *меланхолик* (от лат. *melanos* — чёрный, сгоревший и *chole* — желчь) — сдержанный и медлительный, быстро утомляющийся и ранимый, замкнутый.

Это имело практическое значение: в зависимости от типа темперамента выбирался метод лечения больного. Кроме профилактических мер, причин болезней и их диагностики, Гиппократ описал более 200 лекарственных растений и способов их употребления. Недаром его называют «отцом медицины».

Кроме Гиппократа, огромное влияние на развитие медицины оказал римский врач **Клавдий Гален** (между 129 и 131 — 201). Он заложил основу «аптекарской науке» — фармакологии, широко применял различные извлечения (вытяжки) из лекарственных растений, настаивая их на воде, вине или уксусе. Спиртовые вытяжки — экстракты и настойки — находят широкое применение и в современной медицине. До сих пор фармацевты называют их «галеновыми препаратами».

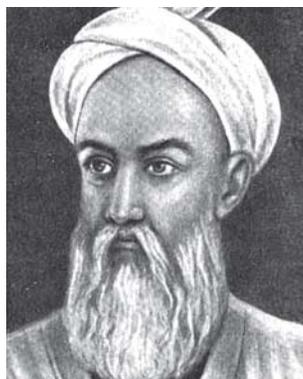
Большое количество лекарственных препаратов растительного и минерального происхождения и способов их приготовления описано в сочинениях среднеазиатского учёного, фи-



Гиппократ — основатель научной медицины



Клавдий Гален



Абу Али Хусейн ибн Абдаллах ибн Сина (Авиценна)



Парацельс (настоящее имя — Филипп Ауреол Теофраст Бомбаст фон Гогенхайм)

лософа и врача эпохи Средневековья Ибн Сины — Авиценны (980—1037). Многие из этих средств — камфара, препараты белены, ревеня и т. д. — с успехом используются до сих пор.

Труды Авиценны дали начало *ятрохимии* (от греч. *iatros* — врач) — медицинской химии, одним из основоположников которой является швейцарский врач, алхимик, философ, естествоиспытатель **Парацельс** (1493—1541). Всецело полагаясь на свои знания химии, Парацельс отказался от классических взглядов на медицину Галена и Авиценны. Он считал, что в основе жизни лежат химические процессы, а заболевания — это результат нарушения их в организме, который Парацельс сравнивал с большой ре-

тортой. Считая организм химическим «реактором», он начал использовать для лечения болезней минеральные воды и многочисленные химические препараты: соединения сурьмы, мышьяка, меди, свинца, ртути и других элементов. До сих пор актуально утверждение Парацельса о важности количества применяемого препарата: «Всё есть яд, ничто не лишено ядовитости, и всё есть лекарство. Лишь только доза делает вещество ядом или лекарством».

А что у нас, в России? Из древних рукописей известно, что в 1547 г. царь Иван Грозный (1530—1584) направляет посла в немецкую землю, чтобы привезти «мастера для изготовления квасцов», применявшихся для лечения огнестрельных ран, различных болезней и опухолей. При царе Михаиле Фёдоровиче (1613—1645) медицинский персонал царского двора составляли 7 докторов, 13 лекарей, 4 аптекаря и 3 алхимиста. Доктора и лекари определяли болезнь и способ её лечения, аптекари продавали простые лекарства и по указанию лекарей изготавливали сложные. Алхимики готовили обычные лекарства в химической лаборатории по указанию аптекарей, принимали участие в «надкушивании» — своеобразной экспертизе и проверке новых лекарств. Через 100 лет названия «алхимист» заменили на «химик».

ОБЕЗБОЛИВАЮЩИЕ ПРЕПАРАТЫ. АЛКАЛОИДЫ. К XIX в. значительно усовершенствовались методы получения, очистки и анализа химических веществ. Всё новыми фактами подтверждались идеи Парацельса о химической природе биологических процессов. Так, Г. Дэви, изучая оксид азота (I) N_2O , обнаружил, что вдыхание небольших количеств этого газообразного вещества вызывает опьянение, беспричинное веселье и судорожный смех, вдыхание больших количеств (вспомните

идеи Парацельса о важности дозы!) снимает зубную боль. Ещё бóльшие количества оксида азота (I) вводят человека в состояние наркоза — полной потери чувствительности и сознания. Открытие Дэви анестезирующих, т. е. обезболивающих, свойств этого вещества позволило применить его в хирургической практике. Химики же до сих пор называют оксид азота (I) веселящим газом. Развитие идей Галена и поиск «действующих начал» — активных компонентов лекарственных растений, отвечающих за их целебные свойства, — увенчались успехом.

В начале XIX в. были открыты первые **алкалоиды**.

Алкалоиды — это биологически активные азотсодержащие органические соединения растительного происхождения.

В 1803 г. были открыты алкалоиды опия (от лат. *opium*, от греч. *opion* — маковый сон) — высушенного млечного сока опийного мака. Из этой смеси алкалоидов в 1806 г. был выделен в чистом виде один из них — морфин, названный так по имени бога сна Морфея. По своему болеутоляющему и снотворному действию на организм он сходен с опиумом. Немного позже из листьев чайного дерева был выделен алкалоид, обладающий стимулирующим действием, — кофеин, который содержится также в плодах (бобах) кофейного дерева и в семенах дерева кола, а в 1820 г. из коры хинного дерева был выделен алкалоид хинин — эффективное средство для борьбы с малярией. Из листьев кустарника кока был получен кокаин, проявляющий анестезирующие свойства, а из корня красавки — атропин, купирующий (т. е. прекращающий) приступы бронхиальной астмы.

Выделенные алкалоиды стали всё шире применяться в качестве лекарственных, в том числе обезболивающих, средств. Работы химиков-органиков позволили установить строение алкалоидов и разработать способы их получения. Были синтезированы и применены для врачебной практики хлороформ (трихлорметан) CHCl_3 , серный (диэтиловый) эфир $\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$, нитроглицерин (тринитрат глицерина), облегчающий страдания при стенокардии, и салициловая (*o*-гидроксibenзойная) кислота, обладающая противовоспалительным действием.

ВАКЦИНЫ. Во второй половине XIX в. в работах выдающегося французского учёного **Л. Пастера** (1822—1895) нашли блестящее подтверждение идеи Авиценны о «мельчайших животных», вызывающих и перенося-

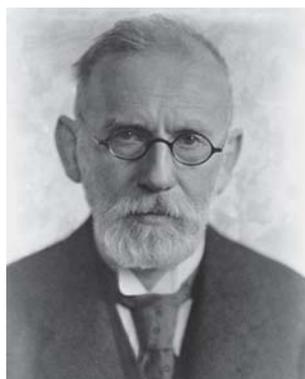


Луи Пастер

щих заболевания. В наши дни даже ребёнку знакомы слова «бактерия», «микроб», «вирус». Учитель химии и физики по образованию, Пастер существенно продвинул вперёд науку — он изучал симметрию молекул органических веществ (мы бы сказали: пространственную изомерию и стереохимию) и брожение, открыл анаэробные (не нуждающиеся в кислороде) бактерии и способ обеззараживания и сохранения пищевых продуктов, названный в его честь пастеризацией, разработал пути формирования иммунитета, создал необходимые для этого лекарственные средства — вакцины.

Французские врачи пренебрежительно относились к открытиям «какого-то химика Пастера», пока он на практике не доказал, что заражение неизлечимой в то время сибирской язвой и смерть от неё могут быть предотвращены с помощью созданной человеком вакцины. Триумфом лекарственных препаратов — вакцин и вакцинации как способа предупреждения заболеваний и их последствий стало спасение в марте 1885 г. мальчика, искусанного бешеной собакой. Других способов избежать смерти при заражении бешенством медицина не знает до сих пор. Вакцинация позволяет избежать кори, оспы, полиомиелита, других болезней и их осложнений. Однако, к сожалению, далеко не всегда организм способен самостоятельно справиться с заболеванием или инфекцией даже с помощью вакцин. Медицина нуждалась не только в средствах, мобилизующих защитные силы организма, но и в препаратах, способных самостоятельно справиться с болезнью.

ХИМИОТЕРАПЕВТИЧЕСКИЕ ПРЕПАРАТЫ И АНТИБИОТИКИ. В 1909 г. немецкий учёный **П. Эрлих** (1854—1915) получил соединение мышьяка — сальварсан, первое эффективное средство против сифилиса. Работы Эрлиха заложили основы *химиотерапии* — лечения инфекционных, паразитарных заболеваний и опухолей лекарствами, подавляющими жизнедеятельность возбудителя болезни или опухолевых клеток.



Пауль Эрлих

В отличие от *фармакотерапии* — лечения препаратами, влияющими на функции организма или симптомы болезней, химиотерапия является *причинной терапией*, т. е. её воздействие направлено на причину, возбудителя болезни. Поэтому химиотерапевтические препараты характеризуются направленностью, специфичностью и избирательностью своего действия.

Идеи Эрлиха получили развитие в работах русского химика-органика **А. Е. Чичибабина** (1871—1945) и английского бактериолога **А. Флеминга** (1881—1955).

А. Е. Чичибабин в годы Первой мировой войны, когда в госпиталях тысячи людей страдали от отсутствия или нехватки болеутоляющих, антисептических и противовоспалительных препаратов, разработал методы получения атропина, кодеина, кофеина, опия и морфина из отечественного сырья, создал в России технологии производства аспирина, фенацетина и салола.

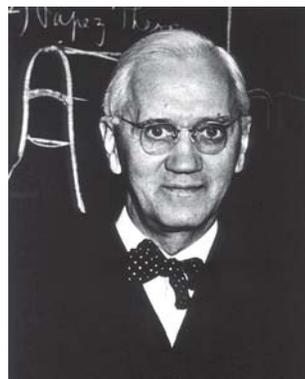
Открытие А. Флемингом в 1928 г. пенициллина — группы **антибиотиков** грибка *Penicillium* стало триумфом учения об *антибиозе* — явлении антагонизма и смертельной борьбы микроорганизмов друг с другом: одни виды бактерий, грибков подавляют (в прямом смысле слова — травят!) жизнедеятельность других с помощью выделяемых микроорганизмами в окружающую среду специфических веществ — антибиотиков.

Антибиотики — органические вещества, образуемые микроорганизмами и обладающие способностью убивать микробов (или препятствовать их росту).

Антибиотики — мощное оружие, и, порой попадая в организм, они уничтожают не только патогенные, но и полезные микроорганизмы, например микрофлору кишечника. Кроме того, болезнетворные микробы, в свою очередь, приобретают устойчивость к «знакомым» им антибиотикам, а они, активно помогая организму бороться с болезнью, позволяют ему «расслабиться», постепенно снижая уровень иммунитета, ослабляя собственные защитные реакции организма. Поэтому очевидно, что нельзя заниматься самолечением антибиотиками.



Алексей Евгеньевич Чичибабин



Александр Флеминг

Лабораторный опыт

Возьмите таблетку ампициллина и измельчите её. Поместите порошок в пробирку, налейте туда 5 мл дистиллированной воды и закройте пробкой. Полученную смесь встряхивайте в течение 1—2 мин, а затем профильтруйте.

В пробирку налейте 1 мл полученного раствора ампициллина и столько же 5—10% -го раствора NaOH. В полученную смесь добавьте 2—3 капли 10% -го раствора CuSO₄. Встряхните пробирку. Появляется фиолетовое окрашивание, характерное для биуретовой реакции, при-

сущей веществам с пептидными связями. Постепенно окраска изменяется на бурую.

НАРКОТИЧЕСКИЕ ПРЕПАРАТЫ. Вещества, влияющие на психику человека, вовсе не изобретение наших дней. Уже в древности жрецы готовили дурманящие ритуальные напитки из различных трав и грибов, некоторые из них используются шаманами и сейчас (например, настойка мухомора), а рецепты других вошли в обиходную речь — вспомните характерное выражение «белены объелся». Издревле известны и опиум, и гашиш.

Можно с большой долей уверенности сказать, что человек научился производить и потреблять опий раньше, чем писать. Опий получали из сока незрелых коробочек опийного мака (рис. 113). Из опия, в свою очередь, можно получить и основное его действующее вещество — морфин. С незапамятных времён опий, а затем и морфин использовались врачами как обезболивающее, снотворное и успокаивающее средство, но с тех же пор было хорошо известно, что применять его надо с большой осмотрительностью. Морфин не только снимает боль, но и вызывает чувство особого наслаждения, приятные (поначалу) галлюцинации. У человека, несколько раз принимавшего морфин, возникает привыкание к нему, он уже не может обходиться без наркотика. Это привыкание носит двойственный характер: различают привыкание психологическое — тяга наркомана к ощущениям, вызываемым морфином, и физическое — следствие патологических изменений в организме наркомана, и прежде всего в нервной системе, при которых неполучение в срок очередной дозы наркотика ведёт к мучительным страданиям. Постепенно организм адаптируется к наркотику, для достижения желаемого эффекта дозы приходится увеличивать... Недавно ещё цветущий молодой человек превращается в беспомощную и страшную в своей жажде наркотика развалину.



Рис. 113. Сун Сэм Парк. Тосканское лето. Конец XX в.

Особенно быстро и прочно развивается пристрастие к синтетическому производному морфина — диацетилморфину, или героину. Во многих случаях объективные признаки привыкания наблюдаются уже после одной-двух доз. Несчастный молодой человек или девушка, часто ещё школьники, получают эти две первые дозы от розничного торговца вообще бесплатно, с тем чтобы уже до конца своей недолгой и кошмарной жизни отдавать

ему всё, что имеют, всё, что сумеют достать любыми средствами, вплоть до грабежей и убийства.

И морфин, и героин действуют на так называемые центры положительных эмоций в мозге. Почему? Мозгом вырабатывается ряд пептидов, управляющих различными его функциями. Особая их группа — *эндорфины* и *энкефалины* — выполняет, в частности, роль активатора центра положительных эмоций. Морфин же взаимодействует именно с этими пептидами. Поэтому такие пептиды даже стали называть опиатными. Даже сам термин «эндорфины» произошёл от синтеза двух слов — «ЭНДОгенные моРФИНЫ».

В последнее время всё чаще внедряют в сознание заблуждение, легенду о существовании «лёгких» наркотиков. Любой (!) наркотик формирует физиологическую и психическую зависимость от него. «Лёгкие» наркотики лишь более коварны, они медленнее и незаметнее (но также необратимо!) подчиняют себе сознание человека.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ. Познакомившись с историей развития науки о лекарственных средствах, вы уже знаете, что лечебный эффект лекарственного средства зависит от многих факторов. К ним относится *доза*, терапевтический диапазон которой индивидуален для каждого лечебного средства. Меньшая доза не вызывает лечебного действия, слишком большая повлечёт побочные эффекты и отравление организма (вспомните идеи Парацельса). Обычно дети и пожилые люди более чувствительны к лекарствам — им назначают меньшие терапевтические дозы. Крайне важны *режим приёма* и *способы применения* (проглотить, разжевать, до еды, после и т. п.) лекарственных препаратов. Режим (частота) приёма определяется длительностью действия и особенностями циркуляции, накопления и выведения лекарства из организма. Кроме того, необходимо учитывать возможное *взаимное влияние* назначаемых препаратов друг на друга и их действие. Немаловажную роль при приёме лекарств играет *состояние организма*. Так, например, нарушение функции печени и почек может вызывать токсичность безвредного в других случаях препарата. Некоторые лекарства резко усиливают токсичное действие алкоголя, вызывая тем самым тяжёлые отравления даже небольшим количеством спиртного. Иногда при этом они теряют своё лечебное действие. Особой осторожности требует назначение и приём лекарств беременными женщинами и кормящими матерями — терапевтическая для женщины доза лекарства может отравить плод или новорождённого.

Кайф, состояние эйфории,
диктовать нам будет свои законы.
Наркоманы прицепят себе погоны.
Шприц повесят вместо иконы
Спасителя и Святой Марии.

И. Бродский



Очевидно, что в одном параграфе невозможно рассмотреть всё многообразие лекарственных средств, их действие на организм, особенности применения и лекарственные формы этих препаратов. Однако вам понятно, что знакомство с этим миром будет невозможно без знания и понимания естествознания как комплекса наук.



В следующем параграфе пойдёт разговор об образе жизни, о том, как сохранить здоровье по возможности без лекарств и что для этого нужно делать.

Теперь вы знаете

- ▶ как возникла и развивалась фармакология
- ▶ как были получены первые химиотерапевтические препараты, антибиотики
- ▶ что такое алкалоиды, вакцины, химиотерапия, антибиотики
- ▶ губительные последствия наркомании
- ▶ факторы, влияющие на эффективность лекарственных препаратов

Теперь вы можете

- ▶ сформулировать, что такое алкалоиды и для чего они применяются
- ▶ объяснить, что представляют собой эндорфины и энкефалины
- ▶ назвать учёных, создавших вакцины, химиотерапевтические препараты (сальварсан), пенициллин
- ▶ перечислить факторы, которые влияют на эффективность лекарственных препаратов

Выполните задания

1. Объясните, что такое «галеновые препараты», как их получали в старину и как изготавливают сейчас. Приведите примеры «галеновых препаратов» из вашей домашней аптечки.
2. Дайте определения терминов: «наркоз», «анестезия», «алкалоид», «пастеризация», «антибиоз», «антибиотики», «причинная терапия».
3. Сравните химиотерапию и фармакотерапию.
4. Опишите, на чём основано лечебное действие антибиотиков, каковы возможные побочные действия неграмотного применения этих препаратов.

5. Перечислите, что обязательно должно входить в состав автомобильной аптечки и почему.
6. Прочитайте рассказ М. Булгакова «Морфий». Что вы можете сказать о судьбе главного героя?
7. Напишите синквейн об одном из лекарственных препаратов по своему выбору.

☉ Темы для рефератов

1. История великих открытий в фармакологии.
2. «Канон врачебной науки» Ибн Сины — энциклопедия теоретической и клинической медицины.
3. Парацельс — один из основоположников ятрохимии.
4. Из истории вакцинации.
5. Магические грибы и религиозные ритуалы у древних народов.

§ 27. Здоровый образ жизни

1. Назовите произведения русских классиков, в которых подробно описаны завтраки, обеды, ужины, вообще — застолье.
2. Приведите примеры произведений мирового искусства, иллюстрирующие красоту человеческого тела, эмоциональность и душевное состояние человека.
3. Опишите чрезвычайную экологическую ситуацию в Москве в августе 2010 г., когда в связи со смогом концентрации загрязняющих веществ были превышены до 16 раз, а число смертей возросло в 2 раза.

ФИЗИЧЕСКОЕ ЗДОРОВЬЕ. Встречаясь, люди говорят друг другу: «Здравствуйте», — т. е. желают здоровья. По Уставу Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), «здоровье — это не отсутствие болезни как таковой или физических недостатков, а состояние полного физического, душевного и социального благополучия». В «Толковом словаре русского языка» под здоровьем понимается нормальное состояние правильно функционирующего, неповреждённого организма.

Различают три вида здоровья: физическое, психическое и нравственное (социальное).

Физическое здоровье — это такое состояние органов, систем органов и всего организма в целом, при котором он оптимально функционирует и развивается.

Ещё в Древней Греции и Древнем Риме красивое, сильное, здоровое тело было возведено в культ. Посмотрите на скульптуры греческих мастеров Поликлета (вторая половина V в. до н. э.) «Дорифор» («Копьеносец») (рис. 114), Мирона (конец VI — начало V в. до н. э.) «Дискобол» (рис. 115). Они отражают физическое развитие человека в гармонии с его внутренним миром, а «Дорифор» являлся ещё и образцом пропорций человеческого тела. Эллина говорили: «Хочешь быть здоровым — бегай; хочешь быть красивым — бегай; хочешь быть умным — бегай!» Именно из стремления к здоровью и родились Олимпийские игры, девиз которых «Быстрее, выше, сильнее». В мрачное Средневековье физическое здоровье отступило на второй план, и только в эпоху Возрождения красота человеческого тела снова стала эталоном совершенства и нашла своё отражение в бессмертных творениях великих скульпторов и художников. Например, во фреске Микеланджело (1475—1564) «Страшный суд» (рис. 116) разнообразнейшее положение фигур даёт возможность оценить всю гамму движений тела и, по оценке искусствоведов, является своеобразным анатомическим атласом, по которому можно изучать мышечную систему человека. Примерами античных представлений о соответствии физической красоты и мощи силы духа может служить его же скульптура «Давид».



Рис. 114. Поликлет. Дорифор (Копьеносец). Копия с оригинала. 450—440 гг. до н. э.



Рис. 115. Мирон. Дискобол. Копия с оригинала. V в. до н. э.



Рис. 116. Микеланджело Буонарроти. Страшный суд. Фреска на алтарной стене Сикстинской капеллы в Ватикане. 1537—1541

Биологическими параметрами физически здорового человека являются следующие показатели: частота сердечных сокращений — 60—90 в минуту, артериальное давление — в пределах 140/90 мм рт. ст., частота дыхательных движений — 16—18 в минуту, температура тела — до 37 °С (в подмышечной впадине).

После физических нагрузок у тренированного человека данные биологические параметры возвращаются к норме гораздо быстрее, чем у физически неподготовленного.

ПСИХИЧЕСКОЕ ЗДОРОВЬЕ. Психическое здоровье — ещё одна составляющая здоровья человека.

Психическое здоровье — это состояние благополучия, при котором человек может реализовать свой собственный потенциал, справляться с обычными жизненными стрессами, продуктивно и плодотворно работать, а также вносить вклад в жизнь общества.

Такое определение даётся этому виду здоровья в Уставе ВОЗ. Эта авторитетная организация выделяет следующие критерии психического здоровья:

- осознание и чувство непрерывности, постоянства и идентичности своего физического и психического «я»;
- чувство постоянства и идентичности переживаний в однотипных ситуациях;
- критичность к себе и своей собственной психической продукции (деятельности) и её результатам;
- соответствие психических реакций (адекватность) силе и частоте средовых воздействий, социальным обстоятельствам и ситуациям;
- способность управлять поведением в соответствии с социальными

- нормами, правилами, законами;
- способность планировать собственную жизнедеятельность и реализовывать эти планы;
- способность изменять способ поведения в зависимости от смены жизненных ситуаций и обстоятельств.

Психическое здоровье зависит от состояния головного мозга, оно характеризуется уровнем и качеством мышления, развитием внимания и памяти, степенью эмоциональной устойчивости, развитием волевых качеств.

Психическое здоровье является предметом пристального внимания корифеев мирового искусства. Например, знаменитая «Джоконда» (рис. 117) Леонардо да Винчи, по мнению психолога З. Фрейда, — образец неисчерпаемых размышлений о состоянии женской души: «...В выражении лица прекрасной флорентийки...



Рис. 117. Леонардо да Винчи. Джоконда (Мона Лиза). 1503—1514

самое совершенное изображение антагонизма, управляющего любовной жизнью женщины, сдержанности и оболыщения, жертвенной нежности и безоглядно-требовательной чувственности, поглощающей мужчину как нечто постороннее». В русской литературе проблема психического здоровья и психического состояния человека является предметом глубочайших исследований великих писателей — Л. Н. Толстого, Ф. М. Достоевского, Н. В. Гоголя и др. Разумеется, традиция создания живых характеров, наделённых неповторимыми чертами, берёт начало в творчестве А. С. Пушкина, в произведениях которого психологизм неразрывно связан с российской действительностью. Энциклопедия русской жизни — это прежде всего роман «Евгений Онегин». Здесь раскрываются психологические черты национального характера главных героев — Евгения и конечно же Татьяны, «русскую душу».

НРАВСТВЕННОЕ ЗДОРОВЬЕ. И последней, третьей составляющей здоровья человека является нравственное здоровье.

Нравственное здоровье — это способность человека соблюдать нравственные законы и моральные принципы, которые являются основой жизни человека в обществе.

Основу нравственного компонента здоровья составляет система ценностей, установок и мотивов поведения отдельного человека в социальной среде, она является фундаментом духовности человека и связана с его понятиями о добре и зле, совести и любви, красоте и долге. Недаром А. П. Чехов подчёркивал: «В человеке должно быть всё прекрасно: и душа, и тело, и одежда, и мысли». Именно низким уровнем нравственного здоровья объясняются сложные социальные проблемы — курение, алкоголизм, наркомания, проституция, рост криминогенной обстановки. И наоборот, высокий уровень нравственного здоровья лежит в основе подвига, патриотизма, гуманизма, понятия красоты и любви. Очень высоко оценивал нравственное воспитание Л. Н. Толстой: «Из всех наук, которые должен знать человек, главнейшая есть наука о



Рис. 118. Рафаэль Санти. Донна Велата. 1515—1516

том, как жить, делая как можно меньше зла и как можно больше добра». А русский педагог, основоположник педагогики в России К. Д. Ушинский писал: «Конечно, образование ума и обогащение его познаниями много принесёт пользы, но увы, я никак не полагаю, чтобы ботанические или зоологические познания... могли сделать гоголевского городничего честным чиновником, и совершенно убеждён, что будь Павел Иванович Чичиков посвящён во все тайны органической химии или политической экономии, он останется тем же, весьма вредным для общества пронырой...»

Нравственное здоровье — основа взаимоотношений между мужчиной и женщиной. Лучшие произведения мировой живописи, архитектуры, литературы, поэзии, музыки посвящены любви к женщине! Например, на одном из известнейших портретов Рафаэля (1483—1520) изображена прекрасная, царственной красоты молодая женщина, полная какой-то необыкновенной духовности (рис. 118).

ТРИ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ЗДОРОВОГО ОБРАЗА ЖИЗНИ. На 50% состояние нравственного, психического и физического здоровья зависит от образа жизни. Другие факторы, определяющие общее здоровье человека: наследственность — 20%, окружающая среда — 20%, уровень медицинской помощи — 10%.

Здоровый образ жизни — это такой способ жизни, который обеспечивает гармоничное развитие и укрепление здоровья, повышение работоспособности людей, душевный комфорт, продление их творческого долголетия.

Здоровый образ жизни предполагает оптимальный режим труда и отдыха, правильное питание, достаточную двигательную активность, личную гигиену, закаливание, профилактику заболеваний, искоренение вредных привычек, любовь к близким, позитивное восприятие жизни.

Соблюдение правильного *режима дня* существенно влияет на здоровье человека. В режиме дня нужно отводить минимум 8 часов для полноценного ночного сна, время для личной гигиены. Необходимо чередование умственной и физической работы, нагрузок и отдыха. Должно быть трёх-, четырёхразовое питание, промежутки между приёмами пищи не должны быть слишком большими (не более 5—6 часов), при трёхразовом питании самым сытным должен быть обед, а самым лёгким — ужин.

Полноценное питание также является неотъемлемой частью здорового образа жизни. Конечно, полноценное питание будет зависеть от многих факторов, индивидуальных для каждого человека: рода деятельности, наличия того или иного заболевания, места жительства,

образа жизни и т. д. Питание должно быть разнообразным и сбалансированным.

Врачи-диетологи рекомендуют раз в неделю есть рыбу и два раза в неделю — мясо (лучше нежирные сорта птицы — курицу или индейку). Эти продукты — важные поставщики в организм белков, жиров, витаминов, микроэлементов и минеральных веществ, которые в таком качестве и количестве не содержатся в других продуктах питания.

Действительно, от правильного питания зависят слагаемые привлекательной внешности человека — чистая кожа, блестящие пышные волосы, яркий взгляд, звонкий смех, ухоженные руки, а в конечном счёте — бодрость и здоровье.

В произведениях А. С. Пушкина, Н. В. Гоголя, Л. Н. Толстого, А. П. Чехова, А. И. Куприна и других писателей можно почерпнуть немало сведений о культуре питания того времени, процессах приготовления и потребления пищи (сервировка стола, кухонные принадлежности, вина, яства, застольные речи).

Длительные и обильные застолья нередко приводят к перееданию, что плохо сказывается на здоровье человека. Переедание является одной из причин атеросклероза, ишемической болезни сердца, гипертонии, сахарного диабета, целого ряда других недугов. Подчеркнём, что более трети россиян, включая детей, имеют лишний вес. И наоборот, стройная фигура, культивируемая в современном обществе как идеал красоты, вызывает желание у многих, особенно у молодых девушек, привести своё тело к желаемым параметрам с помощью разнообразных диет. Но, прежде чем сесть на любую диету, необходимо проконсультироваться с врачом, иначе вместо стройной фигуры можно получить целый букет заболеваний.

Для соблюдения режима правильного питания любому современному человеку необходимо знать энергопотребление организма и уметь составлять суточный пищевой рацион. Этому вы научитесь при выполнении соответствующих практических работ.

Физическая активность и занятия спортом, несомненно, полезны для здоровья человека, так как они предупреждают ряд болезней, которые развиваются в пожилом возрасте (атрофия костей, боли в спине, сердечно-сосудистые проблемы), укрепляют лёгкие, спасают от повышенного артериального давления, нарушения обмена веществ. Кроме того, занятия спортом повышают качество жизни человека, поскольку спортивные люди более активны и уверены в себе. Однако, чтобы получать от физических занятий удовольствие и радость, необходимо избегать перегрузок и тренироваться по индивидуальной программе. Основное правило при спортивных занятиях — это регулярность! Даже небольшие, но регулярные физические нагрузки дают свой положительный эффект, включая такие тривиальные, как утренняя гимнастика, ежедневные прогулки или посещение бассейна, вечерняя пробежка или поездка на велосипеде.



Рис. 119. Занятия лечебной физкультурой

ния и способствовать улучшению состояния. Разумеется, характер физических упражнений, а иногда и целый курс лечебной физкультуры (рис. 119) определит врач. Совет врача будет не лишним и для здорового человека. С медицинской точки зрения самыми полезными видами спорта считаются те, что развивают выносливость: велосипед, плавание, бег трусцой. А вот к тем видам спорта, которые требуют экстремального напряжения (например, тяжёлая атлетика, бодибилдинг, марафонский бег и спортивная ходьба), нужно подходить с осторожностью. Очевидно, заниматься можно любым видом спорта, но при одном условии: чтобы это не вредило здоровью.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СОСТОЯНИЕ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА. Состояние окружающей среды, профилактическая вакцинация, вредные

Здоровому человеку полезно ходить по лестнице, не пользуясь лифтом. По утверждению американских врачей, каждая ступенька дарит человеку 4 секунды жизни, а 70 ступенек сжигают 28 калорий. Нормы общей двигательной активности точно не определены. Некоторые отечественные и японские учёные считают, что взрослый человек должен в день делать минимум 10—15 тыс. шагов.

Если человек страдает каким-либо хроническим заболеванием, то это не означает, что ему нужно забыть о физических занятиях. Просто эти занятия должны соответствовать характеру заболевания



Рис. 120. В. Д. Поленов. Золотая осень. 1893

привычки и возможные стрессы, несомненно, сильно влияют на состояние здоровья людей. Как благотворны для человека идиллический деревенский пейзаж (рис. 120), шум деревьев, пение птиц, звон ручья, сверкающая гладь озера. А различные формы облучения, шум, загрязнение воды и воздуха, наоборот, влияют на самочувствие человека отрицательно (рис. 121). Необходимо по мере возможности избегать этих воздействий, особенно актуальных для городской среды. Для этого нужно, чтобы в квартире были качественные современные окна, системы вентиляции воздуха и очистки воды. Нельзя долго находиться под прямыми солнечными лучами, поскольку это резко увеличивает вероятность раковых заболеваний кожи.

Профилактическая вакцинация играет немаловажную роль в защите здоровья человека. Благодаря ей побеждены коклюш, дифтерия, столбняк, полиомиелит,



Рис. 121. Загрязнённые атмосфера и вода — угроза здоровью человека



гепатит В, корь, свинка, краснуха. Большинство прививок человеку делают ещё в детском возрасте, примерно до 10—11 лет.

Кроме документов, удостоверяющих личность, современному человеку необходимо иметь медицинский сертификат о прививках, где зафиксировано, когда и от каких болезней они сделаны.

Существует и профессиональная профилактическая вакцинация: инфекционным врачам делают прививки от гепатита А и В, врачам, работающим в туберкулёзных диспансерах, — от туберкулёза, ветеринарам — от бешенства, лесникам и геологам — от менингоэнцефалита. Многих людей, которые постоянно находятся в больших коллективах (школьники, учителя, сотрудники больших офисов), ежегодно вакцинируют от гриппа.

Перед посещением экзотических стран необходимо заранее проконсультироваться о рекомендуемых вакцинациях для данной страны. В странах с жарким климатом вы рискуете заразиться различными вирусными заболеваниями (гепатиты А и В, столбняк и дифтерия, бешенство и тиф).

Вредные привычки и стрессы — факторы, губительные для здоровья человека. По данным Всемирной организации здравоохранения, проблемы, связанные с употреблением алкоголя, никотина, наркотиков, сегодня перестали быть медицинскими или моральными проблемами отдельных лиц, они влияют на здоровье, благополучие, безопасность всего населения и нации в целом.

Курение табака приводит к сокращению жизни курильщика на 7—15 лет, в 90% случаев — к смерти от рака лёгкого, в 75% — от бронхита (так называемый бронхит курильщика) и в 25% — от ишемической болезни сердца у мужчин в возрасте до 65 лет. Оно вызывает увеличение риска заболеваний желудочно-кишечного тракта (язва желудка, гастрит). Курение вредно сказывается не только на состоянии здоровья курильщика, но и на здоровье тех, кто его окружает дома, на работе, в общественных местах. В США пассивное курение — вдыхание окружающего воздуха с содержащимися в нём продуктами курения табака другими людьми — убивает 53 тысячи некурящих ежегодно, что делает пассивное курение третьим по значению предотвратимым фактором смертности среди взрослых и детей. Неудивительно, что в Нью-Йорке запретили курение не только в общественных местах, но и в парках, скверах, на улицах.

Длительное злоупотребление алкоголем приводит к необратимым изменениям внутренних органов.

Алкоголизм — заболевание, вызываемое систематическим употреблением спиртных напитков, характеризующееся влечением к ним и приводящее к психическим и физическим расстройствам.

На фоне хронического алкоголизма развиваются такие заболевания, как гастрит, панкреатит, гепатит, цирроз печени, различные типы анемии, нарушения иммунной системы, возрастает риск онкологических заболеваний различных отделов пищеварительной системы, кровоизлияния в мозг.

Наркомания (от греч. *narke* — оцепенение и *mania* — безумие, страсть) — заболевание, выражающееся в физической и (или) психической зависимости человека от наркотиков, постепенно приводящей к разрушению его организма.

Общая деградация личности в результате приёма наркотиков наступает в 10—15 раз быстрее, чем от алкоголя. Наркоманы чаще всего не доживают даже до среднего возраста, умирая от передозировки, от различных болезней или кончая жизнь самоубийством. Среди наркоманов широко распространены гепатит (в 15—20 раз чаще, чем среди остальных людей) и СПИД (они — примерно треть всех носителей ВИЧ).

Наркомания стимулирует рост преступности. Спрос на наркотики в условиях запрета на торговлю ими порождает развитие нелегального наркобизнеса и наркомафии. Ради дозы наркоман готов на любое правонарушение.

Стресс (от англ. *stress* — давление, нажим, нагрузка) — эмоциональное напряжение, которое возникает в результате неприятных переживаний.

Стрессы могут возникать из-за переутомления на работе, длительной концентрации внимания и сил. Более опасные стрессы связаны с комплексом неполноценности, боязнью неудач, различными конфликтами (в коллективе, межличностными, скрытыми или явными). Любой стресс связан с отношением человека к жизни — некоторые начинают волноваться по любому поводу, а другие сохраняют спокойствие даже в трудных ситуациях. Советы по преодолению стрессовых состояний довольно просты: регулярные занятия спортом, сбалансированное и богатое витаминами питание, анализ конфликтной ситуации и оптимальное решение по выходу из неё, принятое самостоятельно или с помощью близких людей.



Заключительный параграф этой главы будет посвящён различным физическим приборам и аппаратам, которые применяются в медицине для диагностики и лечения (от обычного термометра и тонометра до лазеров и рентгеновских установок), а также всевозможным методам обследования с помощью ультразвука, электрического тока и т. д.

☉ Теперь вы знаете

- ▶ в чём заключается физическое, психическое и нравственное здоровье
- ▶ три составляющие здорового образа жизни
- ▶ факторы, влияющие на состояние здоровья человека

☉ Теперь вы можете

- ▶ сформулировать, что такое физическое, психическое и нравственное здоровье, и проиллюстрировать это примерами классических произведений литературы и искусства
- ▶ объяснить, в чём состоит здоровый образ жизни и какие факторы влияют на состояние здоровья человека
- ▶ перечислить заболевания, которые были побеждены благодаря профилактической вакцинации
- ▶ показать на примерах с помощью цифр, как губят и убивают людей курение, наркомания, алкоголь

☉ Выполните задания

1. Дайте свои рекомендации по поддержанию физического, психического и нравственного здоровья.
2. Объясните, нужно ли человеку, имеющему хроническое заболевание, поддерживать физическую активность и зачем.
3. Опишите оптимальный режим питания.
4. В психологии существует такой способ разрешения конфликтов, как «взрыв», когда каждая сторона высказывает свои претензии другой. Назовите положительные и отрицательные моменты такого метода разрешения конфликтов.
5. Сформулируйте свою точку зрения по поводу высказывания: «Не можешь изменить ситуацию, измени отношение к ней». Является ли она рекомендацией для выхода из стрессового состояния?
6. Назовите факторы окружающей среды, опасные для здоровья человека, выскажите свои предложения, как уменьшить их влияние.

☉ Темы для рефератов

1. Вегетарианство и диеты — за и против.
2. Душевное состояние — основа здоровья человека.
3. Психозэмоциональное перенапряжение — как с ним бороться.
4. Роль искусства и литературы в процессе формирования нравственного здоровья.
5. Эмоции и психическое здоровье.

§ 28. Физика на службе здоровья человека

1. Назовите температурные шкалы, которые вы знаете, и формулы для перевода показателей одной шкалы в другую.
2. Вспомните произведения научной фантастики, в которых описаны прототипы современных приборов и аппаратов, применяемых сегодня в медицине и других областях.

АНТРОПОМЕТРИЯ. Среди многообразных и сложных процессов, протекающих в организме человека, можно выделить некоторые процессы, имеющие физическую природу. Например, дыхание связано с движением газа, которое изучает такой раздел физики, как аэродинамика, с теплоотдачей, которую рассматривает термодинамика, с испарением, которое является примером фазовых превращений веществ.

Большинство измерений, проводимых с целью диагностики и исследования организма человека, являются физическими измерениями или измерениями физико-химических величин. Нередко физические факторы применяются для воздействия на организм с целью лечения. И в том, и в другом случае используются особые физические приборы.

Антропометрия — это измерение основных физических показателей человека (взвешивание, измерение длины тела, основных показателей дыхания и т. д.).

Для измерения длины тела используют *ростомер*, представляющий собой вертикальную планку с нанесённой на ней сантиметровой шкалой, укреплённую на площадке. На рост человека влияют многочисленные социальные и экологические факторы, наследственность, болезни, возраст, пол, а также принадлежность к той или иной группе народов. Так, средний рост китайцев-горожан — 170 см (у мужчин) и 158 см (у женщин), средний рост россиян составляет 176 см и 164 см соответственно, голландцев — 184,8 см и 168,7 см.

Измерение массы тела производят на *медицинских весах*. Для определения оптимального веса человека предложен ряд формул. Часто используют так называемые весоростовые индексы, характеризующие нормальный вес человека в сравнении с длиной тела. Например, индекс Брока: из значения длины тела (в см) вычитают 100, т. е. $P = L - 100$, где P — масса тела (в кг), L — длина тела.



Рис. 122. Определение жизненной ёмкости лёгких с помощью спирометра

Для измерения основных показателей дыхания используют специальный прибор *спирометр* (рис. 122). Человек делает глубокий вдох и, зажав нос, выдувает воздух через спирометр. Специальная шкала показывает, какой объём воздуха выдыхает человек.

При спокойном вдохе и выдохе через лёгкие проходит сравнительно небольшой объём воздуха. Это дыхательный объём, который у взрослого человека составляет примерно 500 мл. Акт вдоха проходит несколько быстрее, чем акт выдоха. Обычно за одну минуту совершается 12—16 дыхательных циклов.

При форсированном (глубоком) вдохе человек может дополнительно вдохнуть ещё определённый объём воздуха. Этот резервный объём вдоха, максимальный объём воздуха, который способен вдохнуть человек после спокойного вдоха, равен примерно 1,8—2,0 л.

Жизненная ёмкость лёгких — это объём воздуха, выдохнутого из лёгких после максимального вдоха при максимальном выдохе, который составляет в среднем у мужчин 3,5—5,0 л, у женщин — 3—4 л.

ТЕПЛОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ТЕПЛОТЕРАПИЯ. Точные измерения температур — это неотъемлемая часть медицинской диагностики. С этой целью используют специальные устройства — *термометры*. Температура тела человека является показателем теплового состояния организма и остаётся относительно постоянной. В норме температура тела человека, измеренная в подмышечной впадине, колеблется в пределах 36,4—36,8 °С.



Рис. 123. Ртутный и электронный термометры

Кроме хорошо известного всем ртутного термометра в практику всё более входят современные термометры, например электронный (рис. 123). Такой термометр измеряет температуру тела при помощи специального встроенного чувствительного датчика, а результат измерений отображает в цифровом виде на дисплее. Электронный термометр имеет ряд преимуществ по сравнению с ртутным: он безопасен (не содержит ртути), его невозможно разбить, времени на измерение температуры уходит меньше, его можно использовать даже в темноте, он имеет память с последними измерениями (от 1 до 25).

Повышенные и низкие температуры широко применяются в медицинской практике. Для лечения используют нагретую воду до $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$, торф и грязи (до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$), парафин (до $+60\text{—}70\text{ }^{\circ}\text{C}$). Такой диапазон нагрева объясняется различной теплоёмкостью этих веществ. Как универсальное охлаждающее средство в медицине используется лёд. Применение низких температур для лечения носит название *криогенного метода*.

УЛЬТРАЗВУК. ИЗМЕРЕНИЕ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ. Ультразвук используют для диагностики заболеваний человека.

Механические колебания и волны с частотами более 20 кГц называются ультразвуком.

Метод определения опухолей и отёков головного мозга называется *энцефалографией*. Измерение размеров сердца в динамике производят с помощью метода *ультразвуковой кардиографии*. При операциях ультразвук применяют как своеобразный скальпель, способный рассекать и мягкие, и костные ткани. Способность ультразвука измельчать лекарственные вещества, помещённые в жидкость, используется для получения аэрозолей, которые применяют для лечения туберкулёза, бронхиальной астмы, катара верхних дыхательных путей.

Органом, который создаёт непрерывное движение крови по сосудам, а следовательно, и давление в них, является сердце. Этот удивительный орган, неустанно работающий на протяжении всей жизни человека, во все времена восхищал поэтов и вдохновлял их на замечательные стихи.

Как вы уже знаете, артериальное давление — это давление крови в крупных артериях человека. Оно складывается из двух

показателей: верхнего (систолического) давления — показывает уровень давления крови в момент максимального сокращения сердца и нижнего (диастолического) — показывает уровень давления крови в момент максимального расслабления сердца. Артериальное давление измеряется в миллиметрах ртутного столба (мм рт. ст.). Напомним, что оптимальное значение величины артериального давления у человека составляет 120/80. Это означает, что величина верхнего давления равна 120 мм рт. ст., а нижнего — 80 мм рт. ст. Вы уже знаете, что нарушения артериального давления характеризуются гипертонией и гипотонией.

Гипертония — стойкое повышение артериального давления от 140/90 мм рт. ст. и выше. Симптомами гипертонической болезни по-

Что такое сердце?
Камень твёрдый?
Яблоко с багрово-красной кожей?
Может быть, меж рёбер и аортой
Бьётся шар, на шар земной похожий?
Э. Межелайтис



Рис. 124. Разные виды тонометров



мимо резкого повышения артериального давления (криза) являются головные боли, головокружение, тошнота, нарушение слуха. Гипертония — это причина болезней сердца, головного мозга, сосудов глаз, почек. Повышение давления на каждые 10 мм рт. ст. увеличивает риск развития сердечно-сосудистых заболеваний на 30%. У людей с повышенным давлением в 7 раз чаще развиваются нарушения мозгового кровообращения (инсульты), в 4 раза чаще бывает ишемическая болезнь сердца, в 2 раза чаще — поражение сосудов ног.

Гипотония — низкое артериальное давление от 100/60 мм рт. ст. и ниже. Она приводит к недостаточному кровоснабжению и кислородному голоданию головного мозга, в результате чего появляются слабость, вялость и утомляемость.

Измерение артериального давления связано с именем русского хирурга **Н. С. Короткова** (1874—1920), который предложил для этой цели простой прибор — *тонометр*, состоящий из механического манометра, манжеты с грушей и фонендоскопа. Метод основан на полном пережатии манжетой плечевой артерии и выслушивании тонов, возникающих при медленном выпуске воздуха из манжеты. Для измерения артериального давления в настоящее время применяются также и электронные полуавтоматические и автоматические тонометры (рис. 124).

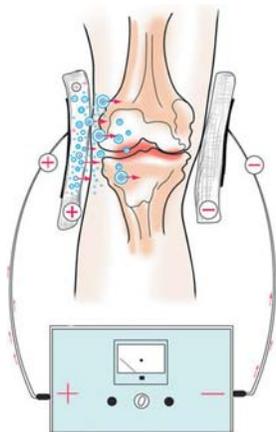


Рис. 125. Схема действия электрофореза

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА И ЛАЗЕРОВ В МЕДИЦИНЕ. Постоянный ток используется в лечебной практике для введения через кожу или слизистые оболочки организма человека лекарственных средств, этот метод называется *электрофорезом*. С использованием электрического тока работают такие медицинские приборы, как электростимуляторы и дефибрилляторы, позволяющие спасти жизнь пациенту.

Электростимуляторы (рис. 125) генерируют гармонические и импульсные электромагнитные колебания низких частот (напри-

мер, кардиостимуляторы, которые предназначены для воздействия на ритм сердца), а высоких — *дефибрилляторы* (рис. 126), кратковременно подают ток высокого напряжения (порядка 4000—7000 В) и приводят к восстановлению нормальной деятельности сердца.

Лазер — устройство, преобразующее различные виды энергии (электрическую, световую и др.) в энергию когерентного (согласованного) электромагнитного излучения с высокой направленностью луча.

Лазеры могут давать излучение в весьма широком диапазоне длин волн — от 100 нм (ультрафиолетовый свет) до 1,2 мкм (инфракрасное излучение) и работать как в непрерывном, так и в импульсном режиме. Само слово «лазер» составлено из первых букв английского словосочетания *light amplification by stimulated emission of radiation* — усиление света посредством вынужденного излучения. В отличие от других источников света, лазер генерирует световые лучи, способные гравировать, сваривать, резать материалы, передавать информацию, осуществлять измерения, контролировать процессы, получать особо чистые вещества, направлять химические реакции. Недаром прототип лазера был положен в основу романа А. Н. Толстого «Гиперболоид инженера Гарина».

Развитие лазерной медицины идёт по трём основным направлениям: лазерная хирургия, лазерная терапия и лазерная диагностика.

Лазерный луч, используемый в качестве скальпеля, например в хирургии глаза (рис. 127) и пластической хирургии, делает относительно бескровный разрез, так как одновременно с рассечением ткани коагулирует края раны, как бы приваривая встречающиеся на пути разреза кровеносные сосуды.

В основе лазерной терапии лежит влияние направленного светового потока (лазера) на живую ткань, клетки которой обновляются, восстанавливают свою жизнедеятельность. Лазерный луч расширяет капилляры, улучшает циркуляцию крови, питание тканей, а всё это вместе приводит к тому, что ускоряются процессы заживления в поражённых местах. Лазерная терапия благотворно влияет на иммунитет, умень-



Рис. 126. Реанимация с помощью дефибриллятора

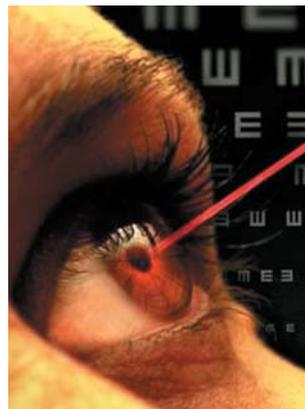


Рис. 127. Операция на сетчатке глаза при помощи лазера

шает вязкость крови, усиливает лимфоток, снижает холестерин, обезболивает, обладает антимикробным, антивирусным и противоаллергенным эффектом. В лазерной терапии низкоинтенсивные лучи применяют для лечения трофических язв, ишемической болезни сердца, для уменьшения размеров опухолей. Особенно эффективна лазерная терапия для лечения ЛОР-заболеваний: гайморитов, ринитов, синуситов, тонзиллитов и связанных с ними заболеваний дыхательного аппарата, например бронхиальной астмы.

Лазерная диагностика позволяет быстро и точно установить диагноз при заболеваниях глаз, пищеварительной, кровеносной систем и предложить эффективную программу их лечения.

МАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС И РЕНТГЕНОДИАГНОСТИКА. Для исследований организма человека используют метод магнитного резонанса — избирательного поглощения электромагнитных волн, помещённых в магнитное поле. Постепенно, послойно сканируя исследуемый орган,

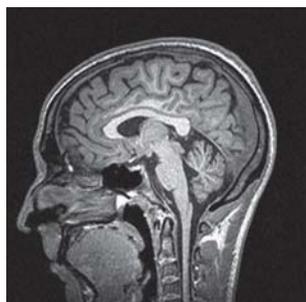


Рис. 128. МРТ — снимок головного мозга

врачи получают *магнитно-резонансную томографию* (МРТ). На снимке можно различать кости, сосуды, ткани с различными повреждениями. Например, с помощью этого метода можно отличить серое вещество мозга от белого (рис. 128), опухолевые клетки от здоровых даже в том случае, если размеры повреждённых участков составляют доли миллиметра.

В 1896 г. весь мир обошёл рентгеновский снимок кисти жены **В. К. Рентгена** (1845—1923). На нём ясно были видны все кости и даже кольца (рис. 129). Так в медицину вошёл метод, который в честь автора называют *рентгеном*. Просвечивание внутренних органов с диагностической целью называют *рентгенодиагностикой*. Используют для этого фотоны с энергией 60—120 кэВ. Существенное различие в поглощении разными тканями рентгеновских лучей позволяет в теневой проекции видеть изображения внутренних органов и скелета человека. Если исследуемый орган и окружающие ткани примерно одинаково задерживают рентгеновское излучение, то используются специальные контрастные вещества. Например, при рассмотрении кишечника и желудка пациентам натошак дают кашеобразную массу сульфата бария — «баритовую кашу». Яркость изображения зависит от интенсивности рентгеновского излучения.



Рис. 129. Снимок кисти жены В. К. Рентгена фрау Берты

Чтобы уменьшить нежелательные биологические последствия для организма, снижают интенсивность такого излучения, используют другой вариант рентгенографии — *флюорографию*, при которой на чувствительной плёнке фиксируется изображение с большого рентгеновского экрана. Рентген используется также для получения послойного, объёмного изображения тела — *томографии*.

☉ Теперь вы знаете

- ▶ что такое антропометрия
- ▶ для чего проводят теплотерапию
- ▶ как меряют артериальное давление
- ▶ зачем применяют электрический ток и лазер в медицине
- ▶ что такое магнитный резонанс и рентгенодиагностика

☉ Теперь вы можете

- ▶ перечислить аппараты, используемые в медицине для диагностики и лечения
- ▶ объяснить, что такое жизненная ёмкость лёгких и её средние показатели
- ▶ дать определение ультразвука, электрофореза, антропометрии
- ▶ назвать заболевания, которые успешно диагностируются и лечатся с помощью лазера

☉ Выполните задания

1. Запишите в тетради некоторые свои антропометрические показатели: рост, вес, жизненную ёмкость лёгких, температуру. Как эти показатели соотносятся с нормой? Сделайте вывод и в случае необходимости предложите соответствующие рекомендации по приведению показателей в норму.
2. Объясните, какое применение в медицине находят ультразвук, электрофорез, лазеры, магнитный резонанс и рентгеновское излучение.
3. Расскажите, как создаётся кровяное давление, как оно измеряется, как называется прибор для его измерения, каковы оптимальные значения величины артериального давления.
4. Перечислите симптомы гипертонии и гипотонии.
5. Опишите принцип работы стимуляторов и дефибрилляторов и их назначение в медицинской практике.
6. Проведите сравнительный анализ рентгенограммы и снимка магнитно-резонансной томографии.

1. Лазерная терапия при воспалительных заболеваниях ЛОР-органов.
2. Ионогальванизация и фарадизация. Показания к применению.
3. Озокеритотерапия — один из видов теплотерапии.
4. Нобелевский лауреат В. К. Рентген: научная деятельность и открытие икс-лучей.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

5 Создай лицо ребёнка

Цель работы: нарисовать лицо ребёнка на основе упрощённой модели наследования некоторых доминантных и рецессивных признаков черт лица человека.

Оборудование: монетка, цветные карандаши.

Ход работы

1. Определите пол ребёнка, подбросив монету: генотип девочки ХХ (решка), мальчика ХУ (орёл).

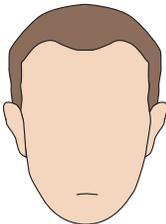
2. Определите черты лица ребёнка, используя приложение и монету (орёл — доминантный признак, решка — рецессивный; первый ген — от мамы, второй — от папы). Полученные данные занесите в таблицу.

Признак	Ген от мамы	Ген от папы	Генотип	Фенотип
1. Форма лица				
2. Очертание подбородка				
3. ...				

3. Нарисуйте лицо «получившегося» ребёнка.
4. Рассчитайте в процентах, сколько доминантных признаков генетически привнёс каждый из родителей.
5. Сделайте вывод о проделанной работе.

Приложение

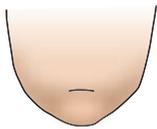
1. Форма лица:
круглая ($RR; Rr$)



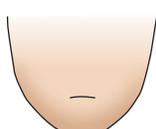
квадратная (rr)



2. Очертание подбородка:
очень выдающийся
(VV ; Vv)



менее выдающийся
(vv)

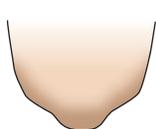


3. Форма подбородка наследуется только в том случае, если подбородок очень выдающийся, и не наследуется, если менее (так как имеет место результат супрессии генов, называющийся эпистазом):

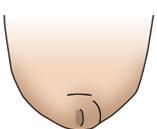
круглый
(RR ; Rr)



квадратный
(rr)



4. Ямочка на подбородке:
присутствует
(AA ; Aa)



отсутствует
(aa)



5. Цвет кожи наследуется полимерными генами A , B , C , которые обладают аддитивным эффектом. За каждого родителя подбрасываем монету три раза для определения генотипа каждого из генов. Например, первая пара может иметь следующие генотипы: AA ; Aa ; aa — соответственно такие же пары образуются для генов B и C .

Чем больше доминантных генов присутствует в геноме, тем более активно проявляется пигментация кожи:

6 доминантных генов — очень чёрная кожа;

5 доминантных генов — очень коричневая кожа;

4 доминантных гена — тёмно-коричневая кожа;

3 доминантных гена — коричневая кожа;

2 доминантных гена — светло-коричневая кожа;

1 доминантный ген — смуглая кожа;

0 доминантных генов — белая кожа.

6. Цвет волос — подобно цвету кожи наследуется полимерными генами. Принимая во внимание, что в образовании цвета волос участвуют четыре гена — A , B , C , D , — подбрасываем монету четыре раза за каждого родителя.

8 доминантных генов — чёрные волосы;

7 доминантных генов — тёмно-коричневые волосы;

- 6 доминантных генов — тёмно-каштановые;
- 5 доминантных генов — каштановые;
- 4 доминантных гена — светло-русые;
- 3 доминантных гена — светло-рыжеватые;
- 2 доминантных гена — блондин (блондинка);
- 1 доминантный ген — очень светлый блондин (блондинка);
- 0 доминантных генов — белые (альбинос).

7. Рыжие волосы определяются единственным геном, представленным двумя аллелями Red (R) и red (r), и проявляются только в сочетании с доминантным геном.

RR — ярко-рыжие; Rr — светло-рыжие; rr — отсутствие рыжих волос.

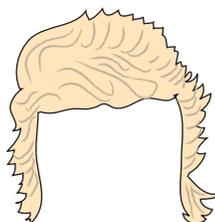
Рыжие волосы проявляются, только если у вашего ребёнка меньше шести доминантных генов.

8. Тип волос:

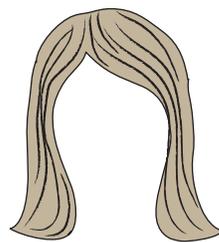
курчавые (CC)



вьющиеся (Cc)

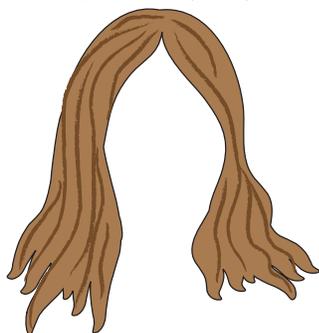


прямые (cc)



9. Волосы на лбу сходятся впереди в центре:

есть признак (Ww)



нет признака (ww)



10. Цвет бровей:

очень тёмный (HH), тёмный (Hh), светлый (hh).

Помните, что цвет бровей может быть иным, чем цвет волос.

11. Толщина бровей:

густые (BB ; Bb)



тонкие (bb)



12. Расположение бровей:
не соединяются (NN ; Nn)



соединяются (nn)



13. Цвет глаз.

Определяется результатом действия двух пар генов, доминантные аллели формируют пигмент, рецессивные — снижают представительство цвета. Первый ген представляет переднюю часть сетчатки, а второй — заднюю. Детерминируют первый ген A , а затем второй — B .

$AABB$ — темно-карие; $AABb$, $AaBB$ — карие; $AaBb$ — светло-карие; $AAbb$, $aaBB$ — темно-синие; $Aabb$, $aaBb$ — голубые; $aabb$ — светло-голубые.

Примечание: в действительности цвет глаз определяет намного более сложная система, чем предложенная.

14. Расстояние между глаз:

близко
посаженные
(TT)

среднее
расстояние
(Tt)

широко
расставленные
(tt)



15. Размер глаз:
большие (EE)

средние (Ee)

маленькие (ee)



16. Форма глаз:
удлинённая (AA , Aa)

круглая (aa)

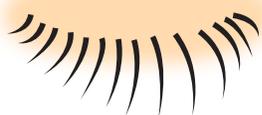


17. Расположение:
горизонтальное (HH , Hh)

угол поднят кверху (hh)



18. Ресницы:
длинные (*LL, Ll*)



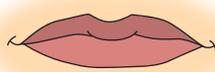
короткие (*ll*)



19. Размер рта:
большой (*MM*)



средний (*Mm*)



маленький (*mm*)



20. Толщина губ:
полные (*LL, Ll*)



тонкие (*ll*)



21. Выпуклость губ:
очень
пухлые (*HH*)



умеренно
пухлые (*Hh*)



не пухлые
(*hh*)



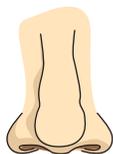
22. Ямочки на щеках:
есть



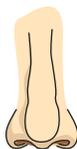
нет



23. Размер носа:
большой (*NN*)



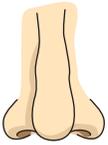
средний (*Nn*)



маленький (*nn*)



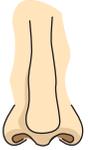
24. Форма носа:
круглый (Rr)



заострённый (rr)



25. Форма ноздрей:
круглые (RR, Rr)



узкие (rr)



26. Мочка уха:
свободная (FF, Ff)



сросшаяся (ff)



27. Дарвиновская точка:
есть (DD, Dd)



нет (dd)



28. Ямка на мочке:
есть (PP, Pp)



нет (pp)

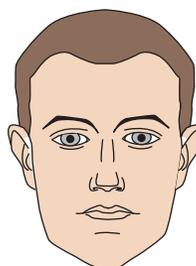
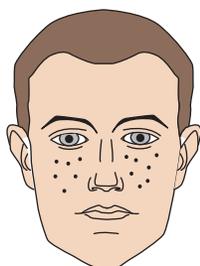


29. Волосы на ушах (волосы на ушах — признак, сцепленный с полом, локализуется в Y-хромосоме и проявляется только у мужчин):
есть (HH, Hh) нет (hh)



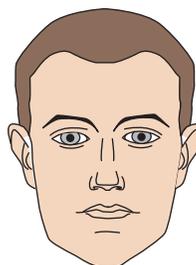
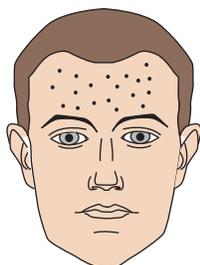
30. Веснушки на щеках:
есть (FF, Ff)

нет (ff)



31. Веснушки на лбу:
есть (ZZ, Zz)

нет (zz)



6 Оценка биологического возраста

Цель работы: оценить собственный биологический возраст.

Оборудование: секундомер, тонометр, спирометр.

Ход работы

1. Определите индекс самооценки здоровья (СОЗ). На 27 вопросов анкеты дайте ответ «да» или «нет», на последний (28-й) — «хорошее», «удовлетворительное», «плохое», «очень плохое». Ответ «да» на пер-

вые 24 вопроса и ответ «нет» на вопросы 25—27 оценивается в 1 балл; прибавьте ещё 1 балл, если на последний вопрос дан ответ «плохо» или «очень плохо».

Анкета «Самооценка здоровья»

- 1) Беспокоит ли вас головная боль?
 - 2) Можно ли сказать, что вы легко просыпаетесь от любого шума?
 - 3) Беспокоит ли вас боль в области сердца?
 - 4) Считаете ли вы, что у вас ухудшилось зрение?
 - 5) Считаете ли вы, что у вас ухудшился слух?
 - 6) Стараетесь ли вы пить только кипячёную воду?
 - 7) Уступают ли вам место младшие по возрасту в городском транспорте?
 - 8) Беспокоит ли вас боль в суставах?
 - 9) Влияет ли на ваше самочувствие перемена погоды?
 - 10) Бывают ли периоды, когда из-за волнений вы теряете сон?
 - 11) Беспокоит ли вас боль в области печени?
 - 12) Бывает ли у вас головокружение?
 - 13) Стало ли вам труднее сосредоточиться, чем в прошлые годы?
 - 14) Беспокоит ли вас ослабление памяти, забывчивость?
 - 15) Ощущаете ли вы в различных областях тела жжение, покалывание, мурашки?
 - 16) Беспокоит ли вас шум или звон в ушах?
 - 17) Держите ли вы для себя в домашней аптечке валидол, нитроглицерин, сердечные капли?
 - 18) Бывают ли у вас отёки на ногах?
 - 19) Пришлось ли вам отказаться от некоторых блюд?
 - 20) Бывает ли у вас одышка при быстрой ходьбе?
 - 21) Беспокоит ли вас боль в области поясницы?
 - 22) Приходится ли вам употреблять в лечебных целях какую-либо минеральную воду?
 - 23) Можно ли сказать, что вы стали легко плакать?
 - 24) Бываете ли вы на пляже?
 - 25) Считаете ли вы, что сейчас вы так же работоспособны, как и прежде?
 - 26) Бывают ли у вас такие периоды, когда вы чувствуете себя радостно возбуждённым, счастливым?
 - 27) Как вы оцениваете состояние своего здоровья?
- Запишите ваш индекс СОЗ, он может быть от 0 баллов при идеальном до 28 баллов при очень плохом самочувствии.

2. С помощью тонометра измерьте своё артериальное давление.

3. По формуле определите пульсовое артериальное давление:

$$\text{АДП} = \text{АДВ} - \text{АДН},$$

где АДП — артериальное давление пульсовое; АДВ — артериальное давление верхнее; АДН — артериальное давление нижнее.

4. Определите жизненную ёмкость лёгких (ЖЕЛ) в положении сидя.
5. Определите продолжительность задержки дыхания в секундах после глубокого вдоха ($ЗД_{вд}$) и глубокого выдоха ($ЗД_{выд}$).

6. Определите длительность статической балансировки (СБ) при стоянии на левой ноге без обуви с закрытыми глазами и руками, опущенными вдоль туловища, без предварительной тренировки. Берите наилучший результат из двух попыток.

7. Вычислите свой биологический возраст (БВ) по формулам:

для мужчин:

$$БВ = 44,3 + 0,63 \cdot СОЗ + 0,40 \cdot АДВ - 0,22АДН - 0,22 \cdot АДН - \\ - 0,004 \cdot ЖЕЛ - 0,11 \cdot ЗД_{вд} + 0,08 \cdot ЗД_{выд} - 0,13 \cdot СБ;$$

для женщин:

$$БВ = 17,4 + 0,82 \cdot СОЗ - 0,005 \cdot АДВ + 0,16 \cdot АДН + \\ + 0,35 \cdot АДП - 0,004 \cdot ЖЕЛ + 0,04 \cdot ЗД_{вд} - 0,06 \cdot ЗД_{выд} - 0,11 \cdot СБ.$$

8. Оцените результаты исследования. Чтобы судить, в какой степени старение соответствует вашему календарному возрасту (КВ), надо сопоставить вашу величину БВ с величиной БВ (ДБВ), которая характеризует возрастной стандарт и вычисляется по формулам:

$$ДБВ = 0,661 \cdot КВ + 16,9 \text{ (для мужчин);}$$

$$ДБВ = 0,629 \cdot КВ + 15,3 \text{ (для женщин).}$$

Вычислите индекс старения (ИС) по формуле:

$$ИС = \frac{БВ}{ДБВ}.$$

При $ИС > 1$ индивидуальная степень старения выше календарного возраста, при $ИС < 1$ — меньше календарного возраста.

9. Занесите полученные результаты в протокол исследования.

10. Оцените индивидуальную степень старения. Укажите факторы образа жизни, существенно влияющие на биологический возраст.

7 Оценка индивидуального уровня здоровья

Цель работы: оценить индивидуальный уровень собственного здоровья и здоровья близких родственников.

Оборудование: секундомер, ростомер, весы.

Ход работы

Оценка ведётся в условных единицах — баллах или очках — по следующим критериям.

1. *По возрасту.* Каждый год до 20 лет даёт 1 балл. От 20 до 40 лет баллы не прибавляются. После 40 лет за каждый прожитый год отнимается 1 балл от 40. Например, для возраста 50 лет даётся оценка 30 баллов (40—10). Оцените в баллах собственный возраст и возраст одного из близких родственников (родителей, бабушки, дедушки).

2. *По соотношению роста и массы тела.* Согласно формуле: нормальный вес = рост – 100. Если истинный вес (ваш или родственника) превышает нормальный более чем на 5 кг, то от оценки здоровья отнимается 30 баллов. Если же истинный вес меньше нормального на 5—10 кг, то оценка увеличивается на 5 баллов.

3. *По фактору риска — курению.* Некурящие получают дополнительно 30 баллов.

4. *По пульсу.* Если пульс в состоянии покоя меньше 90 ударов в минуту, то за снижение его на один удар в минуту к общей сумме всех показателей прибавляется 1 балл. Если пульс в состоянии покоя превышает 90 ударов в минуту, то за каждый лишний удар из оценки здоровья вычитается 1 балл.

5. *По скорости восстановления пульса после дозированных нагрузок.* Необходимо подсчитать пульс в покое и после интенсивных приседаний в течение минуты — через четыре минуты отдыха. Если пульс восстановился, к оценке здоровья приплюсовывается 30 баллов. Если пульс выше исходного — значит, восстановление не полное, резервы сердечно-сосудистой системы невелики, и от 30 отнимается избыточное число ударов, а остаток прибавляется к общей оценке здоровья.

6. *По загруженности активной физической деятельностью и выносливости организма.* Если вы регулярно занимаетесь оздоровительным бегом, ходьбой, плаваете в бассейне или ездите на велосипеде, выполняете утреннюю гигиеническую гимнастику, то к общей сумме прибавляется 10 баллов. Если вы ведёте малоподвижный образ жизни, привыкли ездить на машине и не ходите пешком, словом, у вас гиподинамия, то необходимо уменьшить общую сумму на 20 баллов.

Теперь сложите все 6 полученных показателей. Оценку уровня здоровья можно сделать по модифицированной классификации состояния человека, показанной в таблице 13.

Таблица 13

Уровень здоровья	Количество баллов
Оптимальный уровень здоровья и адаптации, отличное состояние здоровья	101 и более
Хороший уровень здоровья и адаптации, состояние здоровья среднее или хорошее	61—100
Удовлетворительный уровень здоровья с нарушением механизмов адаптации, состояние здоровья удовлетворительное	41—60
Неудовлетворительный уровень здоровья с недостаточной адаптацией, практически здоров	21—40
Неудовлетворительный уровень здоровья со срывом адаптации, предболезнь	20 и менее
Болезнь	< 0

Запишите полученные результаты (отдельно для себя и родственника), оцените индивидуальный уровень здоровья. При неудовлетворительных результатах проведите анализ причин отклонения вашего здоровья от нормы.

8 Определение суточного рациона питания

Цель работы: составить свой суточный рацион питания.

Оборудование: таблица химического состава и калорийности основных пищевых продуктов, калькулятор.

Ход работы

Суточная энергетическая потребность подростков в возрасте 15—17 лет составляет 13 440 000—14 700 000 кДж. Единицей измерения энергии является джоуль (Дж). Однако в физиологии и медицине используют внесистемную единицу — калорию или килокалорию. Взаимосвязь этих единиц: 1 ккал = 4,19 кДж.

1. Пользуясь таблицей 14, рассчитайте свой суточный рацион питания за один (вчерашний) день

ТАБЛИЦА 14
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И КАЛОРИЙНОСТЬ ОСНОВНЫХ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ
(В РАСЧЁТЕ НА 100 г)

Продукт	Количество, г			Калорийность, ккал
	белков	жиров	углеводов	
Хлеб ржаной	6,6	1,2	35,5	181
Хлеб пшеничный	7,6	0,8	49,4	238
Масло сливочное	0,8	72,5	1,3	661
Сыр голландский	23,5	30,9	—	380
Колбаса полукопчёная	16,5	34,0	—	376
Колбаса варёная	12,8	22,2	1,5	257
Шпроты	17,4	32,4	0,4	364
Салат из капусты	1,0	4,7	8,9	84,6
Винегрет	1,0	2,4	7,4	57,5
Борщ (порция)	5,8	23,1	34,9	270
Суп рисовый с мясом (порция)	10,2	9,6	25,6	232

Продукт	Количество, г			Калорийность, ккал
	белков	жиров	углеводов	
Котлета домашняя	14,6	11,8	13,6	220
Свинина жареная	20,0	24,2	—	298
Сосиски отварные	11,2	24,9	—	270
Сардельки свиные	10,2	31,6	—	332
Рыба жареная	15,9	5,1	—	122
Курица жареная	26,3	11,0	—	204
Каша гречневая (порция)	9,5	7,9	56,0	334
Картофель жареный (порция)	4,4	30,6	58,8	544
Оладьи со сметаной (порция)	11,8	19,1	62,6	482
Яичница с колбасой (порция)	15,9	24,9	1,0	301
Блинчики с творогом (порция)	25,8	33,1	55,2	640
Яйца варёные	12,8	11,6	0,8	159
Сметана	2,8	20,0	3,2	206
Творог	16,7	9,0	2,0	159
Сырки творожные	7,1	23,0	27,5	341
Молоко	2,8	2,5	4,7	52
Кефир	2,8	3,2	4,1	56
Яблоки	0,4	—	11,3	46
Апельсины	0,9	—	8,4	38
Бананы	1,5	—	22,4	91
Изюм	1,8	—	69,1	262
Пирожное	4,1	29,0	34,8	417
Сдобная булочка	7,6	5,8	56,4	288
Мороженое сливочное	3,3	10,0	19,8	178
Печенье сдобное	10,4	5,2	76,8	458
Крекеры	9,8	14,1	66,2	439
Конфеты шоколадные	6,9	35,7	54,4	550

Продукт	Количество, г			Калорийность, ккал
	белков	жиров	углеводов	
Конфеты леденцы	Следы	0,1	95,7	370
Мармелад	0,4	Следы	76,6	293
Зефир	0,8	Следы	78,5	304
Чай с сахаром (стакан)	—	—	19,6	74,8
Кофе с молоком (стакан)	2,5	2,6	14,9	150
Сок яблочный (стакан)	1,0	—	18,2	76

2. Результаты расчётов суточного пищевого рациона этого дня занесите в таблицу 15.

ТАБЛИЦА 15
СУТОЧНЫЙ ПИЩЕВОЙ РАЦИОН ПРЕДЫДУЩЕГО ДНЯ

Режим питания	Продукт	Масса, г	Содержание в данном количестве продукта, г			Калорийность, кДж
			белков	жиров	углеводов	
1-й завтрак						
2-й завтрак						
Обед						
Ужин						

3. Сравните данные расчётного суточного пищевого рациона с нормативом, сделайте вывод об их соответствии.

4. Предложите оптимальный состав суточного пищевого рациона на учебный день в соответствии с нормативом.

глава



Естествознание на службе человека





§ 29. Элементарны ли элементарные частицы?

1. Назовите известные вам элементарные частицы.
2. Перечислите фамилии учёных, разрабатывавших атомную теорию строения вещества.
3. Какие модели строения атома вам известны?

ФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ. Вам хорошо известно, что атомы состоят из положительно заряженного ядра и электронной оболочки. Ядро атома — тоже сложное образование. Оно состоит из протонов, несущих положительный заряд, и нейтронов, не имеющих заряда. А можно ли разложить протон на более мелкие частицы? Если да, то являются ли эти мелкие частицы, в свою очередь, неделимыми? И вновь, как во времена Демокрита, научная мысль, отвечая положительно на этот вопрос, опережала экспериментальные доказательства гипотез и математических расчётов. Эксперимент блестяще подтверждал одни предположения, опровергал другие, давая пищу для новых поисков ответа на вопрос: как устроены известные в настоящее время человеку самые мельчайшие частицы материи?

Как связаны между собой вопросы тончайшего устройства наномира с проблемами мегамира — рождения Вселенной? Для чего была построена самая большая в мире и самая дорогая экспериментальная установка — Большой адронный коллайдер?

Выслушай то, что скажу я, и ты, несомненно, признаешь,
Что существуют тела, которых мы видеть не можем...
Стало быть, ветры — тела, но только незримые нами...
Далее запахи мы обоняем различного рода,
Хоть и не видим совсем, как в ноздри они проникают...
И наконец, на морском берегу, разбивающем волны,
Платье сыреет всегда, а на солнце вися, оно сохнет;
Видеть, однако, нельзя, как влага на нём оседает,
Да и не видно того, как она исчезает от зноя.
Значит, дробится вода на такие мельчайшие части,
Что недоступны они совершенно для нашего глаза...
Нам очевидно, что вещь от стирания становится меньше,
Но отделение тел, из неё каждый миг уходящих,
Нашим глазам усмотреть запретила природа ревниво.

Лукреций Кар



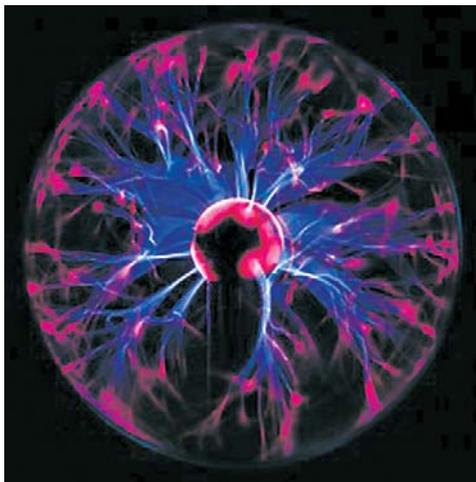


Рис. 130. Шаровидная плазменная лампа, принцип действия которой основан на ионизации заполняющего её газа

Если вещество нагреть до температуры в несколько миллионов градусов, то от его атомов оторвутся электроны и вещество, как вы уже знаете, перейдёт в новое, четвёртое агрегатное состояние — плазму — ионизированный газ. Однако ядра атомов при этом не разрушатся, так как даже при такой большой энергии преодолеть силы ядерного притяжения не получится. Плазма, полученная таким путём, называется высокотемпературной в отличие от низкотемпературной плазмы, получить которую можно действием электрического поля на вещество. На свойствах низкотемпературной плазмы основана работа плазменных панелей телевизоров, мониторов и некоторых других приборов (рис. 130).

ДЕЛЕНИЕ АТОМНОГО ЯДРА. ПРОТОНЫ, НЕЙТРОНЫ. Для того чтобы разделить ядро атома на ещё более мелкие частицы, необходима очень большая энергия, гораздо больше энергии, полученной при нагревании.

Учёные предположили: если столкнуть ядро атома с частицей, несущейся с огромной скоростью и, следовательно, обладающей очень высокой энергией, ядро может распасться на составляющие его части.

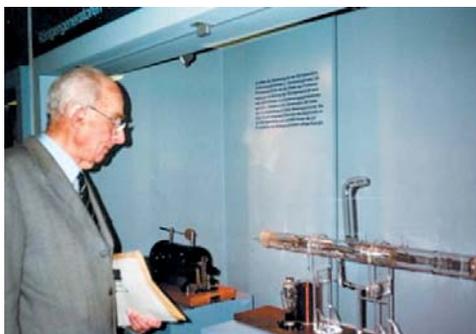


Рис. 131. Один из разработчиков линейного ускорителя Р. Видероз у модели прибора в лаборатории-музее В. К. Рентгена (Вюрцбург, Германия)

По осколкам можно будет воссоздать первоначальное строение ядра, установить, из каких более мелких частиц оно состоит. В качестве частиц-«снарядов» для бомбардировки атомных ядер решили использовать ионы или заряженные элементарные частицы. Почему заряженные? Потому что в электромагнитном поле им можно придать направленное движение с огромной скоростью. Электрическая составляющая электромагнитного поля разгоняет частицу, придавая ей всё боль-

шую скорость и кинетическую энергию, а магнитная направляет частицу по заданной траектории. Установка для проведения подобных экспериментов называется *линейным ускорителем элементарных частиц*. Первые линейные ускорители были сконструированы в 20-х гг. XX в. (рис. 131).

В 1932 г. английский физик *Дж. Чедвик* (1891—1974), бомбардируя ядра атома бериллия α -частицами (ядрами атома гелия), выбил из них элементарную частицу нейтрон, наличие которого в составе ядра предсказывали за несколько лет до экспериментального доказательства его существования. Таким образом, было доказано, что в состав атомных ядер входят два типа элементарных частиц — протоны и нейтроны. Именно потому, что эти частицы составляют ядро атома, их называют общим термином *нуклоны* (от лат. *nucleus* — ядро).

ДЕЛЕНИЕ ПРОТОНОВ И НЕЙТРОНОВ. КВАРКИ. Установив, что ядро атома состоит из нуклонов, учёные задались вопросом: быть может, протон и нейтрон тоже представляют собой комбинацию более мелких частиц? Для экспериментального подтверждения этой гипотезы нужно было ещё больше увеличить энергию сталкивающихся элементарных частиц. Как это сделать? Один из вариантов — увеличить длину пробега в линейном ускорителе частицы-«снаряда», чтобы в момент столкновения она обладала достаточным запасом энергии.

Любые макроскопические аналогии процессов, происходящих в мире элементарных частиц, не вполне корректны, но позволяют лучше представить себе суть происходящего. Чтобы её понять, вспомним некоторые основные законы механики.

Представьте, что яблоко с яблони упало вам на голову. Ничего страшного не произойдёт, а в случае с Ньютоном, если верить историкам, такое падение принесло даже пользу — был открыт закон всемирного тяготения. Но тогда яблоко под действием гравитационных сил двигалось с ускорением свободного падения (9,8 м/с) всего несколько метров, поэтому не успело приобрести значительную кинетическую энергию.

А теперь поднимем яблоко массой 200 г на высоту 100 м. Его потенциальная энергия составит:

$$E_{\text{п}} = mgh,$$

где m — масса яблока, g — ускорение свободного падения, h — высота.

Отпустим яблоко. Оно устремится вниз, набирая всё большую скорость. В момент встречи с землёй, по закону сохранения энергии, потенциальная энергия яблока полностью перейдёт в кинетическую:

$$E_{\text{п}} = E_{\text{к}}.$$

Из курса физики основной школы вы знаете, что:

$$E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}.$$

Приравняем выражения для кинетической и потенциальной энергии и найдём скорость движения яблока в момент падения на землю:

$$\frac{mv^2}{2} = mgh, v = \sqrt{2gh} = 44,3 \text{ м/с.}$$

Представляете, это практически максимальная скорость движения легкового автомобиля — 160 км/ч. Энергия нашего «снаряда» будет составлять:

$$E_{\text{к}} = \frac{0,2 \cdot 44,3^2}{2} = 196 \text{ Дж.}$$

Это уже довольно большое значение энергии, достаточное, чтобы проломить крышу того самого автомобиля.

Вернёмся к линейному ускорителю. Расчёты показали, что для достижения желаемого результата увеличивать длину разгона элементарных частиц технически невозможно: ускоритель в этом случае должен иметь размеры, равные расстоянию от Москвы до Новосибирска.

Решение проблемы оказалось, как всегда, простым и гениальным. Надо обеспечить движение заряженных частиц не по прямой, а по окружности! Тогда разгонять частицы до момента столкновения можно сколь угодно долго.

Циклический ускоритель заряженных частиц получил название **циклотрон**.

Эксперименты, проведённые на циклических ускорителях, подтвердили расчёты учёных-физиков: протоны и нейтроны представляют собой сложные частицы, в состав которых входят *кварки*. Элементарные частицы, состоящие из кварков, называют *адронами*.

Интересный факт: до сих пор остаётся неясным происхождение слова «кварк» и его связь с физикой больших энергий. По одной из версий слово было заимствовано **М. Гелл-Манном** (1929—1969), сказавшим в 1964 г. о существовании кварков, из романа Дж. Джойса «Поминки по Финнегану», где оно обозначает звукоподражание крику чаек (*quark*).

Согласно современным представлениям, любое вещество Вселенной состоит из 12 фундаментальных частиц: 6 лептонов, к которым среди прочих относится знакомый вам электрон, и 6 типов кварков. Все эти частицы обладают массой.

ФОТОНЫ, БОЗОНЫ, АНТИЧАСТИЦЫ. Однако кроме этих «массовых» частиц есть и некие виртуальные, обеспечивающие все известные типы взаимодействия — гравитационное, электромагнитное, слабое, сильное. Виртуальные частицы — это в большей степени математическое явление, чем физическая реальность, поскольку их до сих пор никто никогда не видел. Однако в разных экспериментах физики могут заме-

тить следы их существования, поскольку оно, увы, весьма недолговечно. Они рождаются только в момент какого-либо взаимодействия, после чего или распадаются, или поглощаются какой-нибудь из фундаментальных частиц. Считается, что они как бы переносят взаимодействие, т. е., контактируя с фундаментальными частицами, изменяют их характеристики, благодаря чему взаимодействие, собственно говоря, и происходит.

Так, например, при электромагнитных взаимодействиях, которые изучены лучше всего, электроны постоянно поглощают и испускают виртуальные «безмассовые» частицы — *фотоны*, в результате чего свойства самих электронов несколько изменяются и они становятся способными на такие «подвиги», как направленное движение (т. е. электрический ток) или «перескок» с одного энергетического уровня на другой (при поглощении или испускании света).

Другие частицы, отвечающие за взаимодействие, называют *бозонами*. За счёт обмена бозонами кварки, например, удерживаются в составе протона.

Кроме того, для каждой фундаментальной частицы учёным удалось доказать существование их противоположностей — *античастиц*. Так, электрон имеет античастицу — *позитрон*. Масса позитрона близка к нулю, а заряд равен +1.

ДАЛЬНЕЙШИЕ ПУТИ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИИ. Исследовательский азарт заставлял учёных всё дальше и дальше «разбирать матрёшку» мироздания: вещество — молекула — атом — ядро — нуклон — кварк... (рис. 132).

А что дальше? Как спуститься на следующий, более глубинный уровень организации материи? Как вы догадываетесь, для этого необходимо достичь ещё более высоких значений энергии сталкивающихся частиц. Каким образом?

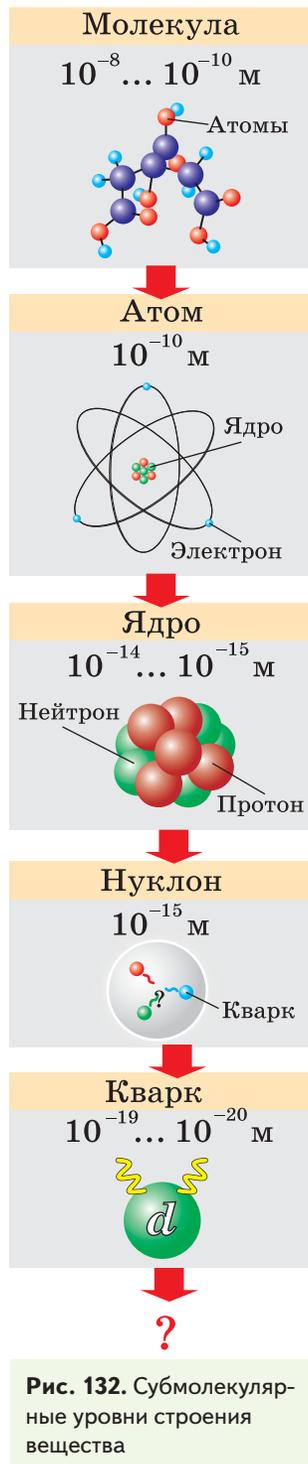


Рис. 132. Субмолекулярные уровни строения вещества

Заряженная частица, движущаяся по окружности, обладает импульсом, значение которого прямо пропорционально радиусу окружности и модулю вектора магнитной индукции поля.

Чем больше импульс частицы, тем больше её энергия. Скорость света — величина постоянная, заряд для данной частицы тоже. Увеличить импульс можно только за счёт двух переменных величин — индукции магнитного поля и радиуса окружности, по которой движется частица.

Увеличение индукции магнитного поля ограничено проводимостью материалов ускорителей, они должны обладать сверхпроводимостью. Уменьшения электрического сопротивления можно достичь путём охлаждения. Итак, первый путь решения задачи — создание сверхпроводящих материалов, желательно работающих при температурах много выше нуля.

Второй путь — увеличение радиуса траектории движения частиц. Осуществить это можно только за счёт увеличения размеров ускорителя. Кроме того, учёные предложили ещё один простой и гениальный способ увеличения энергии столкновения: бомбардировать не покоящуюся частицу движущейся, а сталкивать два встречных потока частиц, летящих навстречу друг другу. При такой «лобовой атаке» энергия столкновения удваивается!

В 2001 г. в подземном тоннеле на границе Франции и Швейцарии, вблизи Европейского центра ядерных исследований, началось строительство самой грандиозной и дорогостоящей за всю историю человечества экспериментальной установки — Большого адронного коллайдера.



Именно о Большом адронном коллайдере пойдёт речь в следующем параграфе.

Теперь вы знаете

- ▶ что изучает физика высоких энергий
- ▶ из чего состоят протоны и нейтроны
- ▶ что такое фотоны, бозоны, античастицы
- ▶ каковы дальнейшие пути исследования материи

Теперь вы можете

- ▶ объяснить, что такое ускоритель элементарных частиц
- ▶ перечислить элементарные частицы и дать их краткую характеристику

☉ Выполните задания

1. Дайте характеристику протонов, нейтронов и электронов по следующему плану: а) обозначение частицы; б) заряд частицы; в) масса частицы; г) взаимосвязь с положением химического элемента в Периодической системе Д. И. Менделеева.
2. Объясните, чем характеризуется каждое агрегатное состояние вещества, что такое плазма, какие виды плазмы существуют.
3. Назовите частицы, из которых состоят протоны и нейтроны, а также 12 фундаментальных частиц, которые образуют вещества Вселенной.
4. Охарактеризуйте фотоны и бозоны. Определите, какова роль бозонов в мире кварков.
5. Определите, что такое кварки и адроны и с помощью каких установок учёные могут «разглядеть» их.

☉ Темы для рефератов

1. Научная деятельность нобелевского лауреата М. Гелл-Манна.
2. Фермионы — базовые «кирпичики» всей материи.
3. Гипотетические частицы.
4. Квазичастицы, их типы и свойства.
5. История открытия основных элементарных частиц.
6. Двенадцать фундаментальных частиц и вся Вселенная.

§ 30. Большой адронный коллайдер

1. Сравните теории происхождения Вселенной и древние легенды и мифы разных народов о сотворении мира.
2. Назовите основные этапы возникновения и эволюции Вселенной.

МОНТАЖ И УСТАНОВКА КОЛЛАЙДЕРА. Проект создания Большого адронного коллайдера (от англ. *collide* — сталкиваться, циклический ускоритель на сталкивающихся пучках), который должен был заменить менее мощные установки, появился в 1984 г. Поскольку расчётная стоимость проекта значительно превышала расходы полёта на Луну, понадобилось долгих 10 лет, чтобы убедить ведущие державы в необходимости финансирования самого дорогостоящего физического эксперимента в истории человечества. Подумать только: в строительные работы, изготовление, монтаж и запуск коллайдера необходимо



Рис. 133. Аэросъёмка участка земной поверхности, под которой расположен Большой адронный коллайдер

было направить около 9,8 миллиарда долларов! Тем не менее в 2001 г. реализация проекта была начата.

К проектным, конструкторским и научным исследованиям по созданию коллайдера было привлечено более 10 тыс. учёных из 100 стран мира.

В качестве площадки для размещения циклического ускорителя был выбран тоннель длиной 27 км, расположенный на глубине от 50 до 175 м на границе Франции и Швейцарии, недалеко от Женевы (рис. 133).

В подземном тоннеле были установлены два полых кольца — трасса для движения заряженных частиц. Для разгона протонных пучков и удержания их на круговой орбите на коллайдере были установлены 1624 сверхпроводящих магнита. Магниты приобретают сверхпроводимость при охлаждении до температуры 1,9 К ($-271\text{ }^{\circ}\text{C}$). Это лишь чуть выше температуры абсолютного нуля, ниже температуры открытого космоса. Такое глубокое охлаждение достигается за счёт использования

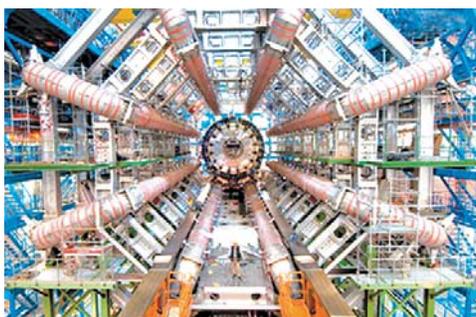


Рис. 134. Монтаж одного из детекторов коллайдера — «ATLAS»

нескольких тонн жидкого гелия, температура кипения которого составляет всего 4 К.

На всём протяжении трассы в точках столкновения встречных потоков частиц были установлены 6 детекторов различной конструкции и назначения, способных регистрировать всё происходящее (рис. 134).

Во второй половине 2008 г. пусконаладочные работы на коллайдере были завершены, и 21 октября состоялось официальное открытие ускорителя.



Рис. 135. Участок кольца коллайдера в тоннеле

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ КОЛЛАЙДЕРА. Принцип действия ускорителя заключается в следующем. В коллайдер вводятся протоны, которые собираются в 2808 пучков, по $1,15 \cdot 10^{11}$ частиц в каждом пучке. Под действием электромагнитного поля положительно

заряженные протоны разгоняются по круговым орбитам во встречных направлениях до фантастической скорости — лишь на 0,000002% меньше скорости света. При таких скоростях 27 км туннеля (рис. 135) протоны пролетают менее чем за 0,0001 с, т. е. за 1 с они делают около 11 тыс. оборотов.

При выходе коллайдера на максимальную проектную мощность энергия каждого протона достигнет 7 ТэВ (тераэлектронвольт). Много это или мало? Для начала напомним, что возрастание какой-либо физической величины на каждые 3 порядка (в тысячу раз) обозначается приставками: «кило-», «мега-», «гига-», «тера-». Например, тактовая частота процессора вашего компьютера составляет порядка 2,5 ГГц. Наверное, вы бы не отказались «превратить» её в терагерцы, т. е. увеличить в 1000 раз.

Итак, энергия движущегося с максимальной скоростью протона составляет 7 ТэВ ($7 \cdot 10^{12}$ эВ), или 10^{-6} Дж. Эта величина сравнима с кинетической энергией летящего комара. Всего-то? Не торопитесь с оценками. Вспомните, какое громадное количество протонов сталкивается в коллайдере. А теперь подсчитаем их суммарную энергию:

$$2808 \text{ пучков} \cdot 1,15 \cdot 10^{11} \text{ протонов} \times \\ \times 10^{-6} \text{ Дж} = 323 \cdot 10^6 \text{ Дж, или } 323 \text{ МДж.}$$

Получается, что при соударении такого количества протонов выделяется энергия, эквивалентная взрыву 100 кг тротила, а суммарная кинетическая энергия протонов сравнима с кинетической энергией летящего реактивного самолёта! В результате резкого возрастания температуры при соударении протоны должны распасться на минимально возможные составляющие, образуя вещество в первозданном состоянии — так называемую *кварк-глюонную плазму*.

Таким образом, благодаря Большому адронному коллайдеру человечество сможет проникнуть так глубоко внутрь структуры материи, как никогда раньше.

ЗАДАЧИ, КОТОРЫЕ ЖДУТ РЕШЕНИЯ. На какие вопросы мы получим ответы с помощью экспериментов на коллайдере? Какие теоретические гипотезы будут подтверждены или опровергнуты? Почему в средствах массовой информации высказываются сомнения относительно безопасности проведения экспериментов на коллайдере? Сначала определимся с задачами, которые ждут решения.

1. Происхождение массы.

Казалось бы, парадоксальная постановка вопроса. Тем не менее такое знакомое нам всем понятие, как «масса», ещё мало изучено. Согласно теории А. Эйнштейна, масса и энергия связаны соотношением:

$$E = mc^2.$$

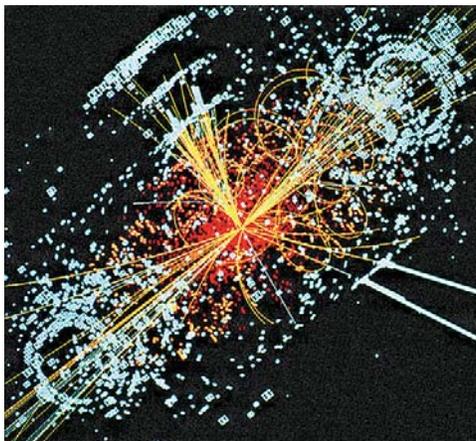


Рис. 136. Моделирование, демонстрирующее рождение бозона Хиггса

Мы уже говорили, что, по мнению учёных, все известные взаимодействия обеспечиваются особыми частицами, в частности бозонами. В 1960 г. шотландский физик *П. Хиггс* (р. 1929) высказал предположение, что всё окружающее нас пространство заполнено полем, впоследствии получившим название хиггсовского. В результате взаимодействия с этим полем, которое проходит через всю Вселенную, любая элементарная частица приобретает энергию, а следовательно, в соответствии с формулой Эйнштейна, и массу. Взаимо-

действие поля с частицей происходит благодаря так называемым *бозонам Хиггса*. Получается, что таинственный бозон Хиггса является как бы творцом всего во Вселенной. Именно поэтому нобелевский лауреат *Л. М. Ледерман* (р. 1922) назвал этот бозон «частицей-богом». В средствах массовой информации такое название трансформировалось в не совсем корректные «божественная частица», «частица Бога». Если бозон Хиггса действительно существует, его надеются зафиксировать с помощью Большого адронного коллайдера (рис. 136).

2. Происхождение Вселенной.

Эксперимент на Большом адронном коллайдере позволит смоделировать состояние вещества в первые мгновения рождения Вселенной.

Напомним, что учёные полагают, будто давным-давно Вселенная была сжата до объёма не больше песчинки. Все частицы, из которых сегодня состоит окружающий нас мир, находились в несвязанном состоянии. Более 14 млрд лет назад произошёл Большой взрыв, в результате чего частицы начали разлетаться в разные стороны, охлаждаться, взаимодействовать между собой и объединяться в более сложные частицы. В первые мгновения из кварков образовались адроны (в том числе протоны и нейтроны). Через секунду после Большого взрыва температура Вселенной понизилась до 10^9 К, из протонов и нейтронов начали образовываться ядра атомов. Спустя 300 тыс. лет в основном сформировались атомы всех известных химических элементов, а также состоящие из них вещества, и начали образовываться планеты и галактики. За счёт расширения на протяжении 14 млрд лет своего существования Вселенная остыла до температуры около 2,7 К и приобрела такие колоссальные размеры, что даже свет проходит её

за миллионы лет. При этом расстояния между галактиками продолжают увеличиваться — Вселенная расширяется.

Столкновение элементарных частиц позволяет в миниатюре воссоздать картину мироздания в первые мгновения после Большого взрыва — в состоянии кварк-глюонной плазмы. И учёные, пытаясь таким образом проникнуть в глубь элементарных частиц, с помощью коллайдера решают ещё и загадку рождения Вселенной.

3. Исчезновение античастиц.

Учёные предполагают, что в момент Большого взрыва Вселенная была симметрична, т. е. наряду с частицами вещества в равном количестве должны были образоваться частицы антивещества — их зеркального отражения. Например, античастицей для электрона является позитрон — частица с противоположными свойствами, имеющая положительный, а не отрицательный заряд. Однако сегодня во Вселенной удаётся обнаружить только вещество. Куда же девалось антивещество? Полагают, что Большой коллайдер даст уникальную возможность понаблюдать за рождением и дальнейшей судьбой антивещества.

В конце лета 2008 г. завершился длительный, продолжавшийся несколько месяцев процесс охлаждения электромагнитов, которым предстояло ускорять, направлять и фокусировать пучки протонов в вакуумных трубах. Охлаждение обмоток этих электромагнитов до перевода их в сверхпроводящее состояние необходимо для того, чтобы выдержать токи, требуемые для создания мощнейшего магнитного поля. Всё было готово для проведения экспериментов с реальными пучками протонов, однако неожиданный инцидент отодвинул ожидания учёных более чем на год.

На Большом адронном коллайдере 19 сентября 2008 г. произошла серьёзная авария. Поломка одной из деталей повредила систему охлаждения, и тонна жидкого гелия вылилась прямо в тоннель. Как вы знаете, гелий — это простое вещество, относящееся к семейству благородных газов. Этот газ вполне оправдывает прежнее название родственных веществ, образованных элементами главной подгруппы VIII группы Периодической системы Д. И. Менделеева, — инертные газы. Гелий настолько индифферентен к атомам остальных химиче-



Непонятны
голоса галактик,
различимые едва-едва.
Непонятно,
кто и как наладит
производство антивещества.
Смотрит в небо жерло телескопа,
от земных волнений отстраняясь.
Звёзды
мы поймём ещё не скоро, —
слишком далеко
они
от нас!

Р. Рождественский

ских элементов, что до сих пор не удалось получить ни одного соединения гелия. Именно поэтому гелий относительно безвреден для организма человека и животных. Ни один специалист, работавший в то время на коллайдере, не пострадал. Технические же поломки оказались достаточно серьёзными. Выяснилось, что замене подлежало более 20 сверхпроводящих магнитов, масса некоторых из них достигала 30 т. На ремонт и восстановление коллайдера ушло больше года.

Первые столкновения пучков протонов удалось осуществить в ноябре 2009 г. Энергия соударений была в полтора десятка раз меньше максимальной, но переход на новую ступень в исследовании вещества был дан. Год спустя были получены первые научные результаты. Коллайдер заработал ещё не в полную мощность, но столкновения протонов с энергией 3,5 ТэВ привело к образованию частиц, косвенно свидетельствующих о том, что существование бозонов Хиггса — не миф, а реальность. Однако, чтобы с уверенностью говорить о существовании «частицы-бога», необходимо накопить значительный экспериментальный материал.

Наконец, в июне 2011 г. мир облетело сообщение, что учёным удалось получить и в течение 16 мин удерживать атомы антиводорода — частиц, образованных отрицательно заряженным ядром и положительно заряженным позитроном.

ВОПРОС БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ КОЛЛАЙДЕРА. Насколько безопасны эксперименты на коллайдере? Опасения некоторых учёных, подхваченные средствами массовой информации, рисуют следующую апокалиптическую картину. Искусственное получение бозонов Хиггса приведёт к неуправляемому скачкообразному росту массы, в результате появится чёрная дыра, куда затянет всю материю если не Вселенной, то, по крайней мере, нашей планеты. Всё живое прекратит своё существование, и вся материя вновь соберётся в мельчайшую песчинку, затем вновь последует Большой взрыв. Появилась даже расхожая шутка: «У физиков есть замечательная традиция: один раз в 14 млрд лет они собираются вместе, чтобы построить Большой адронный коллайдер...»

Учёные, отвечающие за безопасность работы коллайдера, утверждают: пророчества скептиков не могут сбыться, потому что все эксперименты, которые физики надеются провести на коллайдере, происходят в природе постоянно. Дело в том, что энергии в 7 ТэВ для элементарных частиц во Вселенной не является необычной. На самом деле частицы такой и даже большей энергии каждую секунду врезаются в скафандр космонавта, вышедшего из космического корабля. С той же частотой они бы бомбардировали и наши тела, не будь у Земли ат-

мосферы. Воздушная оболочка спасает нас от этих частиц, которые зовутся космическими лучами.

Вывод учёных однозначен: бояться нечего. Вероятность гибели человечества в результате удара астероида, вспышки ближайшей к Земле сверхновой звезды или новой мировой войны существенно больше, чем шансы уничтожить Вселенную при запуске Большого адронного коллайдера.

Стоят ли научные результаты, которые надеются получить на Большом адронном коллайдере, таких огромных средств? Вложения в науку тем и отличаются от вклада в банке, что заранее неизвестно, какой доход вы будете иметь. Постепенно, шаг за шагом научные открытия изменяют нашу повседневную жизнь, подарив нам радио, телевидение, компьютеры, Интернет, новые методы лечения и диагностики. Уже сегодня физика высоких энергий в этом смысле «чиста» перед обществом — она окупила вложенные в неё средства сполна. В экспериментах на Большом адронном коллайдере принимают участие самые талантливые учёные со всего мира, которых привлекает эта фундаментальная область науки, работающая на краю знания и незнания.

Теперь вы знаете

- ▶ в чём заключается принцип действия коллайдера
- ▶ задачи, которые ждут решения
- ▶ как решаются вопросы безопасности при работе коллайдера

Теперь вы можете

- ▶ подсчитать суммарную энергию протонов, сталкивающихся в коллайдере
- ▶ перечислить вопросы, которые могут быть решены только с помощью экспериментов, проводимых на Большом адронном коллайдере
- ▶ доказать, что коллайдер безопасен для окружающего мира и предположения об апокалипсисе — конце света — в связи с ним несостоятельны

Выполните задания

1. Опишите, как устроен Большой адронный коллайдер, за счёт чего достигается сверхпроводимость установленных на нём магнитов, в чём состоит принцип его работы.
2. Длина окружности Большого адронного коллайдера составляет 26 659 м. Рассчитайте его радиус и диаметр.

3. Во время аварии на Большом адронном коллайдере в тоннель вылилась 1 т жидкого гелия. Рассчитайте количество вещества потерянного гелия и объём, который это количество вещества занимает при нормальных условиях.
4. Математики обнаружили интересный факт: отношение массы протона к массе электрона равно $6\pi^5$. Ответьте, во сколько раз протон тяжелее электрона.

☉ Темы для рефератов

1. Бозон Хиггса и его значение для науки. 2. Антивещество и антимир. 3. Тайна рождения Вселенной. 4. Участие российских учёных в работе Большого адронного коллайдера.

§ 31. Атомная энергетика

1. Назовите природные и полученные искусственным путём радиоактивные элементы, а также имена учёных, занимавшихся исследованием радиоактивности.
2. Перечислите достоинства и недостатки атомной энергетики.

ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОГЕНЕРАТОРА. Год от года в мире растёт потребление электроэнергии. Это и понятно: развивается промышленное производство, увеличивается выпуск энергоёмкой продукции, даже в быту мы используем всё больше и больше электроприборов, делающих нашу жизнь удобной и комфортной. При этом нас больше волнует стоимость «потраченного» киловатта, нежели проблемы производства электроэнергии и её передачи на колоссальные расстояния от производителя до потребителя. Мы полагаем, что потребляем уже произведённую электроэнергию, значит, по нашим представлениям, выгоднее её продавать, чем экономить. Вместе с тем всё нарастающий спрос на электроэнергию при непрерывном истощении природных ресурсов для её производства постепенно превращается в глобальную проблему человечества.

Для начала давайте вспомним, что же такое **электрический ток** и каким образом он образуется в металлических проводниках.

Электрический ток — это направленное движение заряженных частиц под действием электрического поля.

В этом параграфе мы будем рассматривать электрический ток в металлах.

Заставить электроны совершать направленное движение в металлическом проводнике можно различными способами: под действием магнитного поля (электрогенераторы), за счёт протекания химической реакции (химические источники тока), преобразованием солнечной энергии в электрическую (солнечные батареи) и т. д.

В 1831 г. английский физик **М. Фарадей** (1791—1867) открыл явление **электромагнитной индукции**. Он изготовил из мягкого железа кольцо, обмотал его изолированной медной проволокой, по которой пропускал ток от гальванического элемента. Вокруг обмотки появлялось магнитное поле, которое пронизывало железное кольцо и индуцировало в нём направленное движение электронов, т. е. электрический ток. При этом обязательным было условие: магнитное поле, которое пронизывает кольцо, должно быть не постоянным, а изменяющимся. Только при изменении магнитного поля, пронизывающего поверхность, ограниченную замкнутым контуром, в нём возникает электрический ток.

» **Напомним**, что свободными заряженными частицами в металлах являются электроны.

***Электромагнитная индукция** — это явление возникновения электрического тока в замкнутом проводнике при изменении магнитного поля, проходящего через него.*

Для получения электрического тока можно использовать и постоянный магнит, только для того, чтобы пронизывающее рамку магнитное поле изменялось, она должна в магнитном поле вращаться (рис. 137). На этом рисунке схематично показана конструкция устройства, которое позволяет получать электрический ток, — **электрогенератора**. Только в реальном генераторе металлическая рамка не одна, а множество, но все они имеют одну ось вращения (подвижная часть генератора называется ротором, а неподвижная часть с постоянным магнитом — статором). Остаётся только решить вопрос, кто же будет вращать ротор электрогенератора за условную ручку, показанную на рисунке 137, чтобы в промышленном масштабе преобразовывать механическую энергию в электрическую.

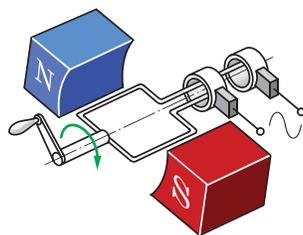


Рис. 137. Схема устройства электрического генератора

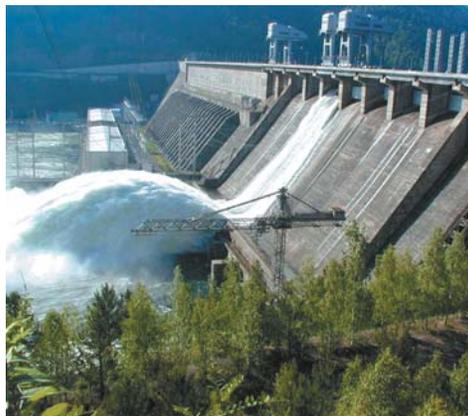
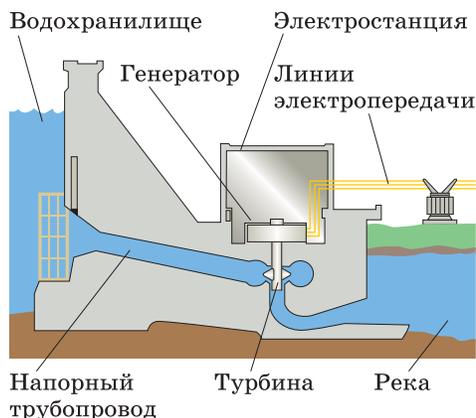


Рис. 138. Схема устройства гидроэлектростанции и внешний вид Красноярской ГЭС

ВИДЫ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ. В зависимости от того, какие силы «вдыхают жизнь» в электрогенерирующее устройство — иначе говоря, в зависимости от источника энергии, — различают гидроэнергетику, тепловую энергетику, атомную энергетику, а также альтернативную (нетрадиционную) энергетику (ветровую, геотермальную, водородную и др.).

На *гидроэлектростанциях (ГЭС)* лопасти турбин вращает поток падающей воды (рис. 138). Для строительства ГЭС необходимо перекрывать русло, обеспечивать значительный перепад высот между уровнем водохранилища и «продолжением» реки, тем самым серьёзно вторгаясь в естественные природные процессы.

На *тепловых электростанциях (ТЭС)* за счёт сжигания органических природных ископаемых (природный газ, каменный уголь) или продуктов нефтепереработки (мазут) нагревают воду, получают водяной пар или раскалённые газы, которые вращают лопатки турбины, соединённой с электрогенератором (рис. 139). Помимо электрической энергии, ТЭС вырабатывает тепло, которое подаётся в наши дома в виде горячей воды для потребления и отопления. Понятно, что для работы тепловой электростанции требуется огромное количество топлива, а при его сжигании образуются дымовые газы, загрязняющие атмосферу.

Конечно, каждый из вас знает, что одним из самых современных способов получения электроэнергии является превращение энергии радиоактивного распада (ядерной энергии) в электрическую на *атомных электростанциях (АЭС)*. Проблему атомной энергетики сегодня активно обсуждают все — от домохозяйек до руководителей ведущих держав. Объяснение этому очень простое: с одной стороны, альтерна-

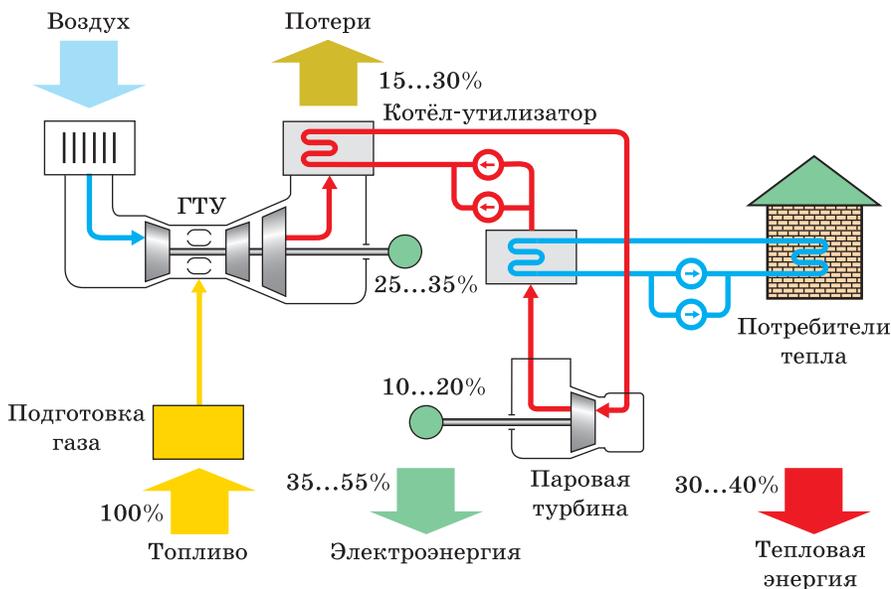


Рис. 139. Схема устройства тепловой электростанции

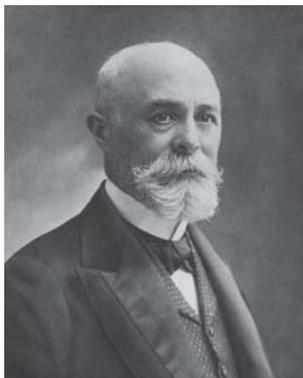
тивы атомной энергетике для промышленно развитых стран в настоящее время нет, с другой стороны, ужасные катастрофы Чернобыля и Фукусимы — весомые аргументы противников строительства и эксплуатации АЭС.

РАДИОАКТИВНОСТЬ, ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ. Чтобы составить своё собственное, аргументированное и обоснованное мнение по проблеме атомной энергетике, вам необходимо знать основополагающие принципы использования энергии **ядерных реакций**.

Атомы большинства химических элементов могут существовать сколь угодно долго, т. е. являются *стабильными*. Однако в природе встречаются элементы, атомы которых самопроизвольно распадаются, при этом образуют «осколки» меньшей атомной массы (это атомы других химических элементов) и выбрасывают β - и (или) α -частицы. Такие элементы (как и вещества, их содержащие) называют *радиоактивными*.

Превращение атомов одних элементов в другие называют **ядерной реакцией**, в ходе таких реакций выделяется огромное количество энергии.

Например, к природным радиоактивным элементам относятся технеций (Tc), радий (Ra), уран (U), а также все расположенные в периодической таблице за ураном элементы (их называют *трансурановые*). Кроме того, искусственным путём с помощью ядерных реакций полу-



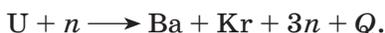
Антуан Анри Беккерель

ченые элементы, никогда не встречающиеся в природе, например элемент № 101 менделевий (Md).

Явление радиоактивности было открыто в 1896 г. французским физиком, лауреатом Нобелевской премии **А. А. Беккерелем** (1852—1908) при исследовании природного минерала урана — уранинита (или урановой смолки). Два года спустя **М. Склодовская-Кюри** (1867—1934) открыла ещё два радиоактивных элемента — радий (Ra) и полоний (Po). Для получения 1 г радия Марии Кюри пришлось вручную переработать 8 т руды!

Протеканию ядерной реакции может способствовать внешнее воздействие на атом, например бомбардировка его нейтронами.

В 1939 г. произошло открытие, положившее начало использованию энергии радиоактивного распада. Австрийский физик **Л. Мейтнер** (1878—1968) и немецкий химик **О. Ганн** (1879—1968) обнаружили, что при поглощении атомом урана одного нейтрона ядро распадается на два «осколка» — атомы более лёгких элементов (бария (Ba) и криптона (Kr)), при этом снова выбрасывается 2—3 нейтрона и выделяется гигантское количество энергии — в 50 млн раз больше, чем при сжигании такого же количества угля! Упрощённо уравнение протекающей ядерной реакции можно записать так:



Высвобождающиеся нейтроны способны инициировать распад новых атомов урана. При достаточном количестве радиоактивного вещества (его масса называется *критической массой*) протекает неуправляемая ядерная реакция, приводящая за доли секунды к выбросу гигантского количества энергии, т. е. *ядерному взрыву*. Помимо огромной разрушительной силы ядерный взрыв приводит к заражению больших территорий радиоактивными продуктами распада, губительными для всего



Мария Склодовская-Кюри



Лиза Мейтнер

живого. Так выдающееся открытие положило начало созданию самого изумительного оружия XX в. — *атомной бомбы*.

В те годы мир стоял на пороге Второй мировой войны. К счастью, ни фашистская Германия, ни СССР до 1945 г. не смогли создать ядерное оружие, вероятность применения которого была бы чрезвычайно велика. Но, к несчастью, создать атомную бомбу и испытать её 6 августа 1945 г. на японском городе Хиросима, а 9 августа того же года — на Нагасаки смогли Соединённые Штаты Америки. Монополизм США в создании ядерного оружия длился недолго: 29 августа 1949 г. на полигоне в Семипалатинске Советский Союз провёл первые испытания собственной атомной бомбы. Был достигнут паритет, значительно уменьшивший вероятность повторного применения ядерного оружия.

Но для наработки радиоактивной «начинки» для атомной бомбы необходимо было построить реактор, в котором протекает контролируемая ядерная реакция. Запуск первого ядерного реактора состоялся в декабре 1942 г. под трибунами стадиона университета в Чикаго.

ПРИНЦИП РАБОТЫ АТОМНОЙ СТАНЦИИ. Уже в ходе первых экспериментов на ядерном реакторе выяснилось, что энергию, которая выделяется в ходе ядерной реакции, можно использовать не только в военных, но и в мирных целях, в частности для превращения её в энергию электрическую. Не удивительно, что именно в СССР, познавшем все тяготы войны и выступавшем за запрет применения ядерного оружия, в 1954 г. была запущена первая в мире атомная электростанция в г. Обнинске Калужской области.

Сердцем АЭС (рис. 140) является атомный реактор, в котором протекает контролируемая ядерная реакция, например деление урана. Ещё раз взгляните на приведённое выше уравнение ядерной реакции. Чтобы замедлить её скорость и контролировать процесс, необходимо «выключить из



Отто Ганн

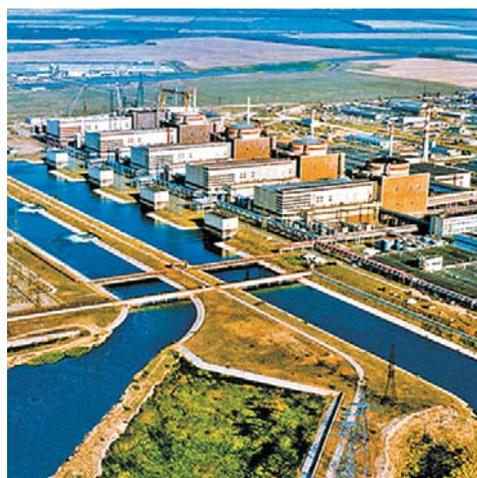


Рис. 140. Внешний вид Балаковской АЭС

игры» лишние выделяющиеся нейтроны. С этой целью используют так называемые замедлители нейтронов — графитовые стержни. Они тормозят скорость движения нейтронов до такой степени, что те становятся неспособными вызывать деление урана. Чем глубже введены стержни в зону реакции, тем ниже её скорость.

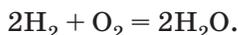
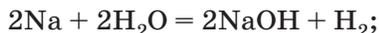
Ядерное топливо находится в тонкостенных металлических трубках, собранных в батарею. Энергия, выделяющаяся в ходе реакции, нагревает воду, омывающую трубки. Вода закипает, превращается в пар. Подавать такой пар непосредственно на турбину, соединённую с электрогенератором, опасно, поскольку он радиоактивен, поэтому его нежелательно выводить за защитную оболочку реактора. Полученный пар нагревает и испаряет воду во втором водяном контуре, именно этот вторичный теплоноситель вращает лопасти паровой турбины, соединённой с валом генератора. Затем пар охлаждается, превращается в воду и по замкнутому циклу вновь подаётся в реактор. Таким образом, большинство АЭС по принципу генерации электроэнергии мало чем отличаются от ТЭС и представляют собой... своеобразную паровую машину!

Однако преимущества АЭС состоят в том, что они сжигают в сотни тысяч раз меньше горючего, чем ТЭС, не выбрасывают в атмосферу продукты сгорания, гораздо более производительны и экологичны, чем станции на органическом топливе.

АЭС НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ. Достаточно трудоёмкой и дорогостоящей процедурой является выработка ядерного топлива для АЭС, ведь изотопа урана с относительной атомной массой 235 в природной руде всего 0,7%. Урановую руду приходится обогащать. А вот урана-238 — 99,3%, однако под действием так называемых медленных нейтронов достичь его распада не удаётся. Физики, инженеры, конструкторы нашли способ заставить уран-238 делиться, для этого нужно использовать нейтроны, обладающие большой энергией, — быстрые нейтроны.

Быстрые нейтроны поглощаются атомами урана-238, которые после серии ядерных реакций превращаются в атомы плутония (Pu) — элемента с высокой радиоактивностью. В свою очередь, плутоний может быть использован в качестве ядерного горючего, а также служить «начинкой» атомного оружия. Получается, что реактор на быстрых нейтронах производит не только электроэнергию, но и новое ядерное топливо! Вот только теплоносителем в «быстрых» реакторах вода уже быть не может: наряду с графитом она является замедлителем нейтронов. Альтернативный вариант, который выбрали учёные, таков: в качестве теплоносителя в первичном контуре используется не газ, не вода, а расплавленный металл, чаще всего натрия (его температура

плавления составляет всего +97,8 °С). Металл, обладая очень высокой теплопроводностью, быстро нагревается и передаёт энергию теплоносителю смежного контура — воде. Но ведь натрий — очень активный щелочной металл, он энергично взаимодействует с водой с выделением водорода, который горюч, а в смеси с кислородом или воздухом взрывоопасен:



Значит, натриевый контур должен быть гарантированно изолирован от попадания влаги. Несмотря на высокую степень риска, эксплуатация «быстрых» АЭС очень выгодна. Главное их преимущество в том, что они производят больше ядерного топлива, чем сжигают. Из каждых 100 кг урана после ядерной реакции образуется 120—140 кг радиоактивного плутония, который также можно использовать в качестве топлива для АЭС. Благодаря этой особенности такие реакторы называют *бридерами* (от англ. *breeder* — производитель). Кроме того, мировых запасов урана-238 в 140 раз больше, чем урана-235, их хватит на ближайшие 10 тыс. лет. Реакторы на быстрых нейтронах позволяют использовать в качестве топлива торий (Th), количество которого в земной коре в 4 раза больше, чем урана.

Первая советская АЭС на быстрых нейтронах была запущена в 1972 г. в г. Шевченко (ныне Актау, Казахстан). Россия и поныне является мировым лидером в этой области атомной энергетики. Более 30 лет без сбоев работает блок на быстрых нейтронах на Белоярской АЭС в Свердловской области.

АТОМНОЕ СУДОХОДСТВО. РИТЭГИ. Атомная энергия служит человечеству не только на АЭС. В 1954 г. в США была спущена на воду первая в мире атомная подводная лодка «Наутилус», а три года спустя — аналогичная субмарина К-3 «Ленинский комсомол» в Советском Союзе. Два атомных реактора, разместившихся в корпусе подлодки, вращают не только роторы электрогенераторов для обеспечения судна электроэнергией, но и валы гребных винтов.

Годом позже ходовые испытания прошёл первый отечественный атомный ледокол «Ленин». Три его реактора вырабатывали электроэнергию для электродвигателей, приведших в действие три гребных винта. Всего в нашей стране было построено 9 атомных ледоколов, проложивших во льдах Северного Ледовитого океана пути для тысяч судов. Основное преимущество атомного судоходства состоит в том, что силовая установка расходует в десятки тысяч раз меньше топлива, чем обычные суда, может автономно работать без пополнения топливных запасов месяцами и даже годами.

Это же стало основополагающим при создании долго живущих источников тока.

Вспомним явление, которое лежит в основе одного из типов источника тока. Возьмём два проводника из разных металлов и соединим их концы. В цепь включим прибор, позволяющий регистрировать наличие электрического тока. Одно из соединений металлов будем нагревать, а другое — охлаждать. Гальванометр покажет наличие тока в цепи. Такое устройство называется *термоэлементом*. А теперь представьте, что нагревать одно из соединений мы будем за счёт энергии ядерной реакции, а для охлаждения другого достаточно температуры окружающей среды. Поскольку ядерная реакция может продолжаться годами и десятилетиями, мы получим долго живущий источник тока! Именно на этом принципе и основана работа *радиоизотопных термоэлектрических генераторов* — РИТЭГов. Такие источники тока устанавливаются на навигационных маяках и радиомаяках, расположенных в тысячах километрах от населённых пунктов, на космических аппаратах, десятки лет летящих к далёким планетам Солнечной системы, на глубоководных станциях.

ВОПРОС БЕЗОПАСНОСТИ. КРУПНЕЙШИЕ АВАРИИ НА АЭС. Одной из глобальных проблем человечества является ответ на вопрос: насколько безопасна атомная энергетика? Как велик риск ядерной катастрофы в результате техногенных аварий или природных явлений на атомных электростанциях? Стоит ли развивать атомный энергетический комплекс или искать альтернативные, более безопасные пути получения электрической энергии?

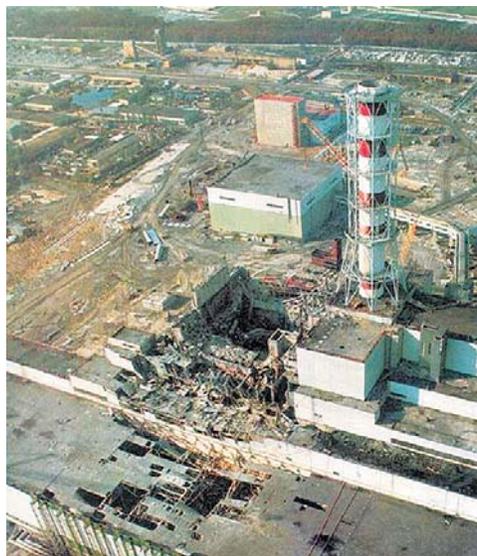


Рис. 141. Разрушенный энергоблок Чернобыльской АЭС

У противников АЭС есть весьма серьёзные аргументы — аварии на действующих электростанциях. Первый звоночек прозвенел 28 марта 1979 г. на АЭС «Три-майл-Айленд» в штате Пенсильвания (США). В результате отказа насосов системы охлаждения в реакторе стала резко повышаться температура. Были включены резервные насосы, но по роковой ошибке персонала задвижки на пути охлаждающей жидкости оказались закрыты. Температура

поднялась до +2200 °С. Хотя ядерное топливо частично расплавилось, оно не прожгло корпус реактора, и радиоактивные вещества остались в основном внутри. Для снижения давления блока сработал аварийный клапан, и в атмосферу было выброшено большое количество радиоактивного пара, благородных газов и водорода. Территория станции также была загрязнена радиоактивной водой, вытекшей из первого контура. Эта авария считается одной из крупнейших в мире.

Семь лет спустя, 26 апреля 1986 г., произошла Чернобыльская катастрофа, потрясшая весь мир.

Примерно в половине второго ночи на 4-м энергоблоке Чернобыльской АЭС произошёл взрыв, который полностью разрушил реактор (рис. 141). Здание энергоблока частично обрушилось, начался пожар. Смесь из расплавленного металла, песка, бетона и ядерного топлива растеклась по помещениям. В результате взрыва произошёл выброс в окружающую среду радиоактивных веществ, в том числе урана и плутония. Облако радиоактивных веществ прошло над большей частью территории Европы, выпадение радиоактивных осадков отмечено на значительных территориях Украины, Белоруссии и России.

Более 30 человек погибли в течение первых трёх месяцев после аварии. Отдалённые последствия облучения, выявленные за последующие 15 лет, стали причиной гибели десятков человек. Более 115 тыс. жителей были эвакуированы из 30-километровой зоны вокруг станции. В ликвидации последствий аварии принимало участие более 600 тыс. человек.

Чернобыльская авария расценивается как крупнейшая в своём роде за всю историю ядерной энергетики — как по предполагаемому количеству погибших и пострадавших от её последствий людей, так и по масштабам экономического ущерба.

Третья крупнейшая авария на АЭС по характеру развития напоминает американскую трагедию. 11 марта 2011 г. вблизи японского острова Хонсю произошло сильнейшее землетрясение магнитудой 9 баллов. Подземные толчки привели к сбоям в системе охлаждения нескольких энергоблоков атомной электростанции «Фукусима-1». Температура внутри реакторов начала быстро расти, перегретый водяной пар стал реагировать с металлом тепловыделяющих элементов с образованием водорода. Когда давление достигло критического значения, водород вырвался в атмосферу и, соединившись с кислородом воздуха, взорвался. Весь мир облетели кадры огненного столба над

Нуклиды, цезий, фон, Чернобыль...
Кружилась, никла голова.
И так нам нужно было, чтобы
Сном стали все эти слова.

В. Глуценко



зданием станции, частично разрушившего строительные конструкции. Но сам реактор устоял. Расплавленное ядерное топливо стекло на дно корпуса. Для его охлаждения использовались все возможные силы и средства: энергоблок поливали из пожарных и военных машин, сбрасывали тонны воды с вертолётов. Удалось решить главную задачу — не допустить образования трещины в реакторе и расплавления его бетонного основания раскалённой лавой.

Приведённые примеры ярко показывают, насколько опасно халатное, не отвечающее правилам техники безопасности использование ядерной энергетики. Тем не менее, несмотря на серьёзную опасность, развитие общества уже немыслимо без использования энергии атома: масштабы применения радиоактивных веществ в энергетике, космической технике, медицине, биологии, геологии растут с каждым днём.

В 2011 г. атомные электростанции работали в 30 государствах мира, в общей сложности эксплуатируется 436 энергоблоков. В ближайшее время вступить в ядерный клуб собираются ещё 14 держав. Доля атомной энергетики в энергетическом комплексе России в 2011 г. составляла 16%, до 2030 г. эту цифру планируется увеличить до 30%. В энергобалансе Японии на атомную энергетику приходится 28%, Франции — 78%. Экономика развитых стран уже не в состоянии отказаться от атомного электричества. Выход один: повышать степень безопасности имеющихся, а особенно строящихся АЭС. После японской трагедии ряд стран приостановили свои ядерные программы. Правительство Германии приняло решение о запрете эксплуатации АЭС, построенных до 1980 г. Следующий шаг в решении вопроса, быть или не быть ядерной энергии на службе человечества, — за вашим поколением.

Теперь вы знаете

- ▶ как получают электрический ток с помощью электрогенератора
- ▶ какие существуют виды электростанций
- ▶ что такое радиоактивность, ядерные реакции
- ▶ принцип работы атомной станции
- ▶ как работает АЭС на быстрых нейтронах
- ▶ как решаются вопросы безопасности на АЭС

Теперь вы можете

- ▶ объяснить устройство и принцип работы электрогенератора
- ▶ дать сравнительную характеристику разных видов электростанций — ГЭС, ТЭС и АЭС

- ▶ перечислить трансурановые элементы таблицы Д. И. Менделеева
- ▶ описать принцип действия термоэлектрического генератора

☉ Выполните задания

1. Опишите явление электромагнитной индукции.
2. Опишите устройство ГЭС, ТЭС и АЭС.
3. Охарактеризуйте ядерный взрыв и контролируемый ядерный процесс.
4. Назовите области применения атомной энергии.

☉ Темы для рефератов

1. История открытия радиоактивности. 2. Ядерный клуб. 3. Развитие атомной энергетики в нашей стране. 4. Чернобыль и Фукусима — сравнительный анализ. 5. Мирный атом и атомная война в литературе и кинематографе. 6. Радиация: генетические последствия.

§ 32. Продовольственная проблема и пути её решения

1. Сравните голод в России в 1921—1922 гг. и голод в СССР в 1932—1933 гг., назовите их причины и масштабы.
2. Назовите страны с самым большим по численности населением, покажите их на карте.
3. Приведите примеры произведений литературы, искусства, кинематографа, в которых «главным героем» является голод.
4. Объясните, как вы понимаете слова Ф. Шиллера «любовь и голод правят миром».

ГЕОГРАФИЯ ГОЛОДА И ЕГО ПРИЧИНЫ. Вдумайтесь в страшные факты:

- более 1,5 млрд человек, а это каждый пятый житель планеты, страдает от хронического недоедания;
- около 650 млн человек находятся на грани голодной смерти;
- каждые 30 с на земном шаре от голода умирают десять детей.



Рис. 142. Голод — глобальная проблема человечества

Проблема мирового голода, нехватки продовольствия является одной из самых острых глобальных проблем человечества (рис. 142).

География голода достаточно обширна: на карте мира она охватывает большую территорию, включая почти всю Африку к югу от Сахары, Западную Азию, Южную и Юго-Восточную Азию, Карибский бассейн, часть Южной Америки. Подлинным «полюсом голода» давно уже являются африканские страны, лидирующие как по численности голодающих,

так и по остроте форм проявления голода. Именно в этом регионе в течение последних двух-трёх десятилетий наблюдалось беспрецедентное обострение продовольственной проблемы, явившееся последствием катастрофических засух. Более 150 млн человек в той или иной степени страдали от пищевой дистрофии и её последствий.

Давайте порассуждаем о причинах возникновения этой глобальной проблемы и путях её разрешения.

В мире есть царь: этот царь беспощаден,
Голод названье ему.

Н. А. Некрасов

Из курса истории вы знаете, что первобытный человек начал заниматься сельским хозяйством примерно 12 тыс. лет назад. Только охотой и собирательством уже трудно было

обеспечить питание человеческой популяции, которая насчитывала тогда около 15 млн. В свою очередь, улучшение питания за счёт перехода к земледелию и развития сельского хозяйства способствовало увеличению численности людей к началу новой эры до 250 млн человек. К середине XVII в. население планеты удвоилось, достигнув 500 млн. Для следующего такого скачка, удвоения до 1 млрд, потребовалось всего 150 лет, — это произошло к началу XIX в. Ещё через 150 лет человечество перешагнуло двухмиллиардный рубеж. В прошлом веке ускорение темпов роста населения, несмотря на многочисленные разрушительные войны с многомиллионными потерями, продолжилось, и, по данным ООН, к 1974 г. оно достигло 4 млрд человек. Достижение отметки 8 млрд землян ожидается в 2025 г., на 2011 г. население Земли составляло 7 млрд человек. В десятку самых многонаселённых стран мира в настоящее время входят Китай (свыше 1,3 млрд человек), Индия (1,2 млрд), США (313,2 млн), Индонезия (более 245 млн), Бразилия (196 млн), Пакистан (175 млн), Бангладеш (162,2 млн), Нигерия (154,7 млн), Россия (143 млн) и Япония (127,9 млн).

Согласитесь, что вслед за ростом населения такими же темпами должно возрастать и производство сельскохозяйственной продукции, однако оно ограничено естественными природными ресурсами, пре-

жде всего возможностью расширения пахотных земель. И не только. У мирового голода есть достаточно и других причин:

- *бедность и нищета* стран Африканского и Азиатского континентов, из-за которой население не имеет возможности приобрести семена, сельхозтехнику, удобрения, средства защиты растений;
- *губительные природные факторы* — жестокие засухи, наводнения, нашествия саранчи;
- *социальные бедствия* — вооружённые конфликты, войны, миграция, делающие невозможным мирный сельскохозяйственный труд;
- *экономические факторы* — стремление поддержать высокие цены на продовольствие, дискриминация мелких сельхозпроизводителей;
- *политические причины* — глобализация системы производства и торговли, борьба за сферы влияния, рынки сбыта продовольствия.

Сочетание всех этих факторов и является причиной грядущей продовольственной катастрофы.

ТРИ ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЯ В РЕШЕНИИ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ ПРОБЛЕМЫ. Борьба с голодом, угрожающим сокращению человечества, представляет собой серьёзную научную проблему, и в первую очередь для таких естественных наук, как биология, химия, генетика.

Очевидно, что производство сельскохозяйственной продукции не может быть существенно увеличено просто за счёт освоения новых земель. В большинстве стран вся пригодная земля уже обрабатывается. Кроме того, расширение культивируемых площадей требует больших капиталовложений и ставит под угрозу местную экологию. Чтобы увеличить мировые пищевые ресурсы, необходимо усовершенствовать производство и хранение пищи, обеспечить сохранность питательных веществ в почве, снабдить производителя водой и топливом, повысить эффективность использования солнечной энергии в процессе фотосинтеза. Естественные науки играют в решении этих задач главную роль, поскольку позволяют разобраться в тех биохимических процессах, которые лежат в основе жизненных циклов. Мы начинаем понимать на молекулярном уровне роль тех факторов, которые можно контролировать с целью увеличения производства продуктов питания.

Естествознание предлагает три основных направления в решении проблемы мирового голода.

Первое направление — использование химических веществ для повышения плодородия почв, урожайности сельскохозяйственных культур, защиты их от вредителей, для придания растениям и животным устойчивости к болезням.

Второе направление — получение пищевых продуктов и их заменителей альтернативным сельскохозяйственному производству путём, т. е. создание искусственных продуктов питания.

Третье направление — принципиально новые методы создания высокопроизводительных сортов растений и пород животных путём генетических изменений, придания живым организмам новых качеств и свойств, нехарактерных для данного биологического вида.

Рассмотрим достижения современного естествознания в решении продовольственной проблемы по каждому из перечисленных направлений.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ. Химическая наука разработала вещества для эффективного повышения плодородия почв, средства для борьбы с вредителями сельского хозяйства, обеспечения сохранности поголовья скота, получения новых высокоурожайных культур и т. п. Вместе с тем под постоянным контролем находятся вопросы экологической и генетической безопасности, пренебрежение которыми может привести к не менее трагическим последствиям, чем нехватка продовольствия. Например, существенный ущерб урожайности наносят вредители. Ранее главная задача химиков состояла в получении химических соединений, которые должны уничтожать насекомых или других вредителей. Однако при этом существует риск нарушения природного баланса и привнесения в окружающую среду посторонних веществ. Сегодня ставится цель контролировать воздействие вредных насекомых на урожай, а не истреблять их, чтобы избежать опустошительных последствий грубого вмешательства в экологию. Исследуя биохимию организмов этих вредных насекомых, химики в состоянии ограничить наносимый вредителями урон новыми химическими средствами, которые уже не представляют опасности для природы при сколь угодно долгом их использовании.

В настоящее время в сельском хозяйстве применяются тысячи разнообразных химических веществ, примерная классификация которых приведена на схеме.



УДОБРЕНИЯ. Как вы думаете, долго ли проживёт растение, если вместо почвы его посадить в горшок с мелкими стеклянными шариками и при этом регулярно поливать? Ответ очевиден, ведь в процессе роста и развития растение вытягивает из земли не только влагу, но и самые разнообразные питательные вещества. Они содержат химические элементы, необходимые растительному организму в сравнительно больших количествах: макроэлементы — азот (N), фосфор (P), калий (K) и ми-

кроэлементы — бор (В), железо (Fe), медь (Cu), марганец (Mn), цинк (Zn) и др. Микроэлементы, как вы уже знаете, потому так и названы, что содержатся в организмах в незначительных количествах (менее тысячной доли процента), но совершенно необходимы для их нормальной жизнедеятельности.

Сельскохозяйственные культуры, выращиваемые на одних и тех же площадях, постепенно обедняют почву. Выдающийся немецкий химик **Ю. Либих** (1803—1873) говорил: «Продавая урожай со своего поля, крестьянин продаёт и само поле». Для поддержания плодородия почвы необходимо пополнять в ней запас питательных веществ. Такую подпитку проводят внесением органических и неорганических веществ, называемых удобрениями.

В зависимости от химического состава удобрения делятся на *органические* и *минеральные* (неорганические). Если удобрение содержит один питательный элемент, оно называется *простым*, если два и более — *комплексным*.

Природа питательного элемента определяет тип удобрения: *азотное, фосфорное, калийное, удобрение с микроэлементами*.

Удобрения, как правило, вносят в почву. Кроме того, раствором удобрений можно опрыскивать сами растения, обрабатывать семена.

При правильном применении удобрения улучшают питательный, водный, воздушный и тепловой режим почвы, её агрономические свойства, повышают урожайность сельскохозяйственных культур и качество продукции.

РЕГУЛЯТОРЫ РОСТА. Они представляют собой химические соединения, которые в малых концентрациях оказывают влияние на размер, внешний вид и форму растений и животных. Это природные соединения, синтезируемые в организме, а также некоторые вещества естественно-го происхождения, попадающие в организм извне. Однако регуляторами роста являются также многие сходные соединения, полученные в лаборатории. Обычно их создают по природным образцам, и некоторые из них действуют не менее эффективно, но без нежелательных побочных эффектов. Как правило, регуляторы роста относятся к гормонам — природным химическим соединениям, обладающим регуляторным действием. Образно говоря, гормон — это химически закодированное сообщение, рассылаемое в органы и ткани организма как приказ к определённому действию.

ФЕРОМОНЫ. Химическая сигнальная система играет в жизни насекомых, в том числе и сельскохозяйственных вредителей, чрезвычайно важную роль. Выделяя во внешнюю среду особые химические вещества, одни особи оказывают влияние на поведение, а иногда на рост и

развитие других особей того же вида. Такие вещества называют феромонами. Например, с помощью феромонов, выделяемых самкой, самцы насекомых находят её за многие километры.

В сельском хозяйстве феромоны применяются в борьбе с вредителями, поскольку с их помощью можно управлять поведением насекомых. Феромоновые ловушки используются для регуляции численности вредителей. Они помогают точно определить сроки применения инсектицидов и, таким образом, сократить количество применяемых ядохимикатов. Другая их функция — заманивание насекомых. Например, в лесах Норвегии и Швеции было установлено более миллиона ловушек, дававших в течение 4 лет ежегодный «улов» в 4 млрд особей жучка, паразитирующего на коре хвойных деревьев. Синтетические феромоны распыляют на небольшой площади вдали от посевов сельскохозяйственных культур, что позволяет дезориентировать насекомых, сбить их с естественного пути следования и собрать в огромные массы. Если это вредные насекомые, то такое массовое скопление можно прицельно обработать ядохимикатами, при этом ограничивается площадь применения пестицидов, их количество, сохраняются от гибели полезные насекомые, например пчёлы.

ПЕСТИЦИДЫ. Так называют химические средства борьбы с сельскохозяйственными вредителями (рис. 143). В зависимости от того, что уничтожают пестициды, различают несколько их групп: *инсектициды* (средства уничтожения насекомых), *гербициды* (средства борьбы с сорняками), *фунгициды* (средства борьбы с возбудителями заболеваний растений), *зооциды* (вещества, уничтожающие вредных грызунов) и др. Кроме того, к пестицидам относят *дефолианты* (вещества, стимулирующие опадение листьев) и *десиканты* (вещества, вызывающие обезвоживание тканей растений, что ускоряет их созревание и облегчает уборку урожая). Пестициды используют не только как средства защиты растений, но и для уничтожения насекомых и грызунов, которые могут переносить различные болезни.



Рис. 143. Обработка посевов пестицидами

Как правило, пестициды — это синтетические органические вещества. Их использование строго регламентируется законодательством во всех странах, поскольку систематическое применение стойких высокотоксичных веществ, особенно с нарушением концентрации или технологии, может привести к загрязнению окружающей среды, гибели по-

лезных насекомых, птиц, рыб, зверей и даже отравлению людей непосредственно пестицидами или продуктами, в которых они способны накапливаться.

Несмотря на очевидную опасность применения ядохимикатов, полностью отказаться от их использования было бы равнозначно ежегодной потере от 10 до 20% выращенного урожая, что существенно осложнило бы продовольственную проблему не только развивающихся, но и развитых стран. Недаром говорят, что мы едим только то, что нам оставляют вредители сельскохозяйственных культур.

РЕПЕЛЛЕНТЫ. Представляют собой вещества, которые используются для защиты людей и животных от нападения кровососущих насекомых и профилактики переносимых ими заболеваний. Действие репеллентов основано на отпугивании насекомых.

В результате нападения гнуса увеличиваются потери животноводческой продукции из-за уменьшения надоев молока и замедления роста молодняка. Удой у коров могут снижаться на 15—30%, а привес молодняка — на 20—25%. Известны случаи, когда животные погибали от интоксикации в результате множества укусов. Вред, причиняемый гнусом, этим не ограничивается. Комары и другие кровососущие насекомые являются переносчиками многих заразных болезней, в частности малярии. На земном шаре ею ежегодно болеет более миллиона человек.

СОЗДАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ. Это второе направление в решении продовольственной проблемы. Услышав термин «искусственная пища», многие полагают, что химики собираются готовить пищевые продукты примерно так же, как они производят бензин или пластмассы, — из нефти или природного газа. На самом же деле речь в основном идёт о том, чтобы придать одним пищевым продуктам вид и вкус других, более дефицитных.

Современная наука и технология пищевой промышленности позволяют выделять белки соевых бобов, из волокон которых получают ткани, схожие по структуре с мясом. После добавления жиров и компонентов, придающих вкус мяса, эти продукты становятся аналогами или заменителями мяса животных в рационе человека. В различных странах в продаже уже есть ряд аналогов мясных продуктов, например ломтики, имеющие вкус копчёной грудинки или имитирующие гамбургеры. Применение таких аналогов может дать колоссальный эффект. Ведь огромное количество зерновых и бобовых расходуется в настоящее время на корм скоту (около 80%) и лишь 20% идёт непосредственно в пищу человека. Превращение растительных белков в животные за счёт животноводства не превышает 12% и стоит весьма дорого. Растительные аналоги мясных продуктов сократили бы произ-

водственный цикл, повысили эффективность производства, удешевили конечную продукцию.

Выдающимся научным достижением конца XX в. считают производство микробиологического белка. В огромных ферментёрах (ёмкостях, заполненных сырьём и ферментами), управляемых ЭВМ, непрерывно выращивают нетоксичные микроорганизмы. Например, метанотрофы — микроорганизмы, основу питания которых составляет метан. Их перерабатывают в белок с помощью природного газа или отходов нефтепереработки. Полученная белковая масса является превосходным кормом для животных вместо зерновых и бобовых культур, которые можно высвободить для питания человека. Кроме того, из микробных клеток можно получать белковые волокна для изготовления аналогов мяса так же, как и из соевого белка.

Имеются реальные возможности вводить в пищевой рацион нетрадиционные продукты. На повестку дня встала переработка даров моря, и прежде всего криля — мелких морских ракообразных, запасы которого в Мировом океане фантастически огромны. По некоторым данным, человечество могло бы ежегодно добывать от 50 до 150 млн т криля. Высушенный криль более чем наполовину состоит из белка и богат витаминами, в особенности витамином А.

Большие потенциальные возможности заключаются в переработке отходов пищевой промышленности. Не нужно морщить нос при упоминании слова «отходы», поскольку эмоциональное восприятие терминов может быть ошибочным. Например, к отходам молочного производства относится молочная сыворотка, содержащая массу полезных веществ. Простейшая технология переработки молочной сыворотки заключается в получении из неё порошка. В 1955 г. в США 25% сырой сыворотки превращалось в продукты питания, а к 1975 г. эта цифра возросла до 75%. На основе углевода лактозы, содержащейся в сыворотке, в Японии производят напитки, фруктовые соки и сиропы, мороженое, пирожные, консервы и сгущённое молоко.

Большим потенциальным ресурсом для получения продуктов питания являются растительные отходы, содержащие целлюлозу: отруби, жмых, кукурузные початки, фруктовые корки, опилки и т. п. Наиболее распространённый способ их переработки — гидролиз целлюлозы до глюкозы, которая затем сбраживается в спирт. Из 100 кг отходов хвойных деревьев можно получить 25 л спирта и 4—5 кг сухих дрожжей, содержащих около 50% белка. Исследуются возможности утилизации целлюлозосодержащих отходов с помощью высших грибов. Уже научились выделять быстрорастущие грибы, которые повышают усвояемость и увеличивают содержание микробного белка в выжатом сахарном тростнике, рисовой соломе и в других отходах, содержащих целлюлозу.

Технология производства продуктов питания вскоре позволит получить новые виды кулинарных изделий, причём довольно необычных (например, пирожные из водорослей и пирожки из планктона). Но подобные фантастические блюда пока ещё в меню далёкого будущего.



Поистине безграничные возможности победы над мировым голодом предлагает современная область естествознания — биотехнология. Она достойна того, чтобы посвятить ей отдельный параграф.

Теперь вы знаете

- ▶ в чём заключается проблема мирового голода и его причины
- ▶ три основных направления в решении продовольственной проблемы
- ▶ роль химических веществ для решения проблемы голода
- ▶ роль удобрений
- ▶ что такое регуляторы роста
- ▶ что такое пестициды
- ▶ что такое репелленты
- ▶ роль искусственных продуктов питания

Теперь вы можете

- ▶ назвать регионы мира, где нехватка продовольствия является глобальной проблемой, а также причины голода там
- ▶ перечислить 10 стран, которые являются самыми многонаселёнными в мире
- ▶ объяснить, какие достижения современного естествознания помогают в решении продовольственной проблемы
- ▶ проанализировать, что означает термин «искусственная пища», и привести примеры её производства

Выполните задания

1. Назовите цифры населения земного шара в начале XIX в., в 1974 г. и в настоящее время, а также прогнозируемую цифру на 2025 г.
2. Перечислите природные, социальные, экономические и политические факторы, составляющие причины мирового голода.
3. Объясните, какие химические вещества позволяют повышать эффективность сельскохозяйственного производства и какие проблемы возникают на пути их применения.

4. Дайте характеристику удобрений с точки зрения их химического состава и питательного элемента.
5. Определите, в чём суть пестицидов, почему их применение строго регламентировано, перечислите их группы.
6. Опишите, как получают аналоги мясных продуктов, микробиологический белок, как перерабатывают растительные отходы, содержащие целлюлозу, для производства продуктов питания.

☉ Темы для рефератов

1. Регуляторы роста и развития растений и животных.
2. Феромоны и их применение в сельском хозяйстве.
3. Репелленты и их применение в сельском хозяйстве.
4. Пестициды: за и против.
5. Меню далёкого будущего.
6. Мировой океан — кормилец человечества.

§ 33. Биотехнология

1. Объясните, что такое искусственный отбор, селекция, гибридизация растений и животных. Приведите примеры гибридов среди растений и животных.
2. Назовите учёных, работавших в области селекции, чей вклад в науку невозможно переоценить.
3. Дайте определение мутации, перечислите факторы внешней среды, под влиянием которых происходят мутации живых организмов.

ТРИ ЭТАПА В РАЗВИТИИ БИОТЕХНОЛОГИИ. Термин «биотехнология» впервые в 1917 г. применил венгерский инженер *К. Эреки* (1865—1933).

Газета «Комсомольская правда» в 2001 г. так описывала колоссальные возможности биотехнологии:

«Японские медики приступили к беспрецедентному эксперименту по выращиванию человеческих органов из клеток зародышей — оплодотворённых яйцеклеток... Культивировать «запчасти» будут из так называемых эмбриональных стволовых клеток, из которых состоит зародыш любого живого существа на начальном этапе развития. Клетки обладают полной генетической информацией и являются предшественниками всех органов человека. Если поместить такую клетку в

необходимую питательную среду, из неё можно вырастить какой угодно орган — будь то сердце, печень или нервные волокна».

Биотехнология — это интеграция естественных и технических наук с целью использования живых организмов и биологических процессов в производстве, энергетике и охране окружающей среды.

Можно выделить три этапа становления биотехнологии как отрасли производства, а затем и науки: ранняя биотехнология, новая биотехнология и новейшая биотехнология.

Ранняя, или стихийная, биотехнология связана со знакомыми человеку с древнейших времён микробиологическими процессами. Издавна люди пекли хлеб, готовили сыры и кисломолочные продукты, заквашивали овощи, варили квас и пиво, делали вино. В основе технологии производства всех этих продуктов лежат процессы брожения.

Брожение — это биохимическая реакция, протекающая при участии микроорганизмов или с помощью ферментов.

Как вы знаете, в живых организмах ферменты ускоряют множество биохимических процессов. Оказывается, многие ферменты сохраняют свою биологическую активность и вне живой клетки, что стало основой их использования на заре биотехнологии.

Период новой биотехнологии датируется началом XX в., когда впервые удалось вырастить вне живого организма клетки и ткани растений и животных. Начиная с середины 70-х гг. XX в. учёные нашли способы, а инженеры — технические решения по использованию биологических методов для борьбы с загрязнением окружающей среды, производства ценных биологически активных веществ (антибиотиков, ферментов, гормональных препаратов, витаминов и др.), для защиты растений от вредителей и болезней. На основе микробиологического синтеза были разработаны промышленные методы получения белков и аминокислот, используемых в качестве кормовых добавок.

Современный этап развития биотехнологии можно назвать новейшей биотехнологией. Специалистам-биотехнологам стали доступны методы изменения генотипа животных и растений с целью придания им новых свойств и качеств, методы выращивания тканей и органов вне живого организма, получения точных копий родительского организма из одной-единственной его клетки. Достижения новейшей биотехнологии базируются на интеграции таких биологических дисциплин, как физиология, микробиология, биохимия, биофизика, молекулярная генетика, иммунология.

ГЕННАЯ ИНЖЕНЕРИЯ. В современной биотехнологии выделяют три раздела, три относительно самостоятельных направления; генная (или генетическая) инженерия, клеточная инженерия, биологическая инженерия.

Генная инженерия — это раздел биотехнологии, связанный с целенаправленным конструированием новых, не существующих в природе сочетаний генов, внедрённых в живые клетки и способных синтезировать определённый продукт.

Когда мы хотим отметить какую-либо характерную особенность человека, унаследованную им от родителей, например склонность к творчеству, высокий интеллект или, напротив, вредную привычку, мы сокрушённо вздыхаем: «Что поделаешь, это гены!» Что же это за таинственные гены, делающие нас похожими на своих родителей?

Напомним, что в ядрах клеток живых организмов содержатся хромосомы. Основу любой хромосомы составляет макромолекула дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) очень большой длины. Как вы знаете, полимерная молекула ДНК состоит из двух параллельных нитей-макромолекул, связанных друг с другом водородными связями. Каждая «нить» представляет собой последовательно соединённые друг с другом нуклеотиды и напоминает очень длинные бусы. Например, в молекулах ДНК хромосом человека насчитывается от 50 до 245 млн «бусинок»-нуклеотидов. Макромолекула ДНК скручена в спираль (рис. 144), поэтому её размер обычно не превышает 20 мкм, а в растянутом виде длина хромосомы человека может достигать 5 см. Помимо ДНК в состав хромосомы входят молекулы белков.

Вы знаете, что под влиянием факторов внешней среды у всех видов живых организмов происходят мутации.

Можно ли провести мутацию искусственным путём, т. е. внедрить в ДНК новый, несвойственный данному организму ген? Ведь таким образом можно «привить» живому организму полезное качество, которого у него не было. В 1973 г. американские учёные С. Коэн и Э. Чанг встроили в ДНК бактерии участок ДНК лягушки. Свершилось небывалое: бактерия стала вырабатывать белок, характерный для лягушки, и даже передавать лягушечью ДНК потомкам! Так была показана принципиальная возможность встраивать чужие гены в геном определённого организма.

Растения и животные, в геном которых введены синтезированные гены или гены других организмов, называются генетически модифицированными организмами (ГМО), а продукты их переработки — трансгенными продуктами.

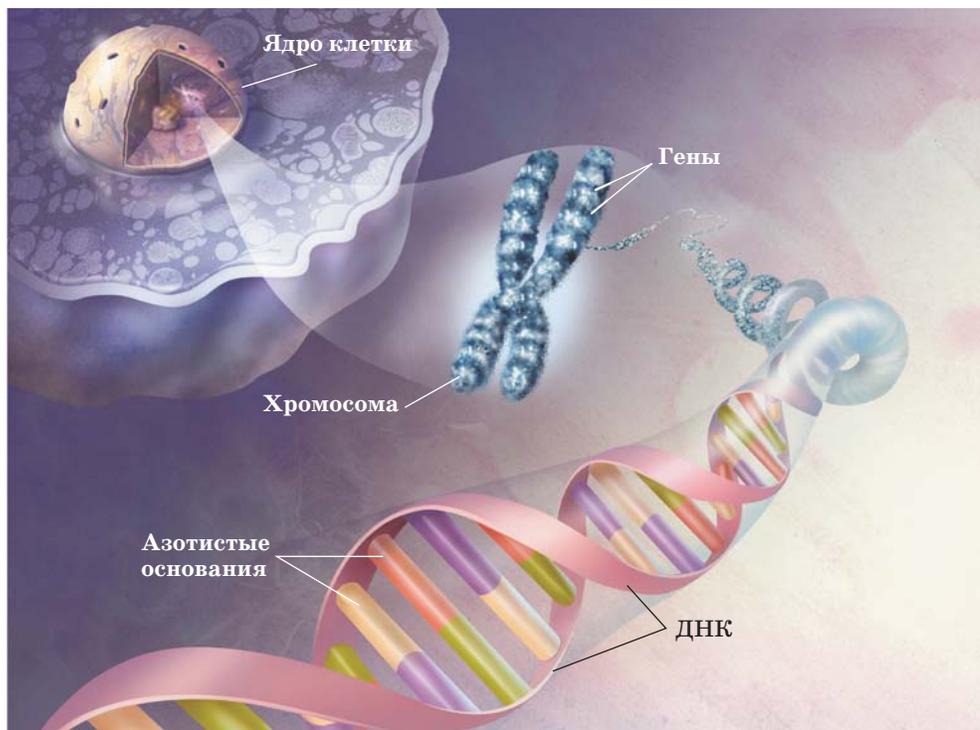


Рис. 144. Зашифрованная наследственная информация в геноме человека

Последние десятилетия генная инженерия поистине творит чудеса. Японским учёным удалось ввести в ДНК свиней ген шпината, в результате чего мясо стало менее жирным. Генетически модифицированные растения произрастают уже на миллионах гектаров сельскохозяйственных угодий. Они отличаются от своих «собратьев» большей урожайностью, устойчивостью к вредителям, болезням и засухе, большим содержанием полезных питательных веществ.

Трансгенная кукуруза добавляется в кондитерские и хлебобулочные изделия, безалкогольные напитки; модифицированная соя входит в состав рафинированных масел, маргаринов, жиров для выпечки, соусов для салатов, майонезов, макаронных изделий, варёных колбас, кондитерских изделий, белковых биодобавок, кормов для животных и даже в состав детского питания.

Создание генетически модифицированных растений, устойчивых к сорнякам и вредителям, в несколько раз уменьшает расход гербицидов и ослабляет тем самым химическую нагрузку на окружающую среду. В сельскохозяйственную практику входят трансгенные сорта с повышенными потребительскими свойствами, например гороха, сои, злаков с улучшенным составом белков. Созданы трансгенные помидо-



Рис. 145. Генно-модифицированные арбузы

ры без зёрнышек, на подходе бескосточковые черешня, цитрусовые. Выведен даже сорт кубических арбузов (рис. 145), которые экономически выгодно транспортировать и складировать за счёт более плотной укладки. Методами генной инженерии канадскими учёными получен виноград, которому пересажен ген морозоустойчивости от дикой капусты, и в Канаде появились виноградники.

В животноводстве с помощью генной инженерии получены высокопродуктивные породы животных — овец, свиней, кур.

В фармакологии методы генной инженерии дали возможность получить высокоэффективные вакцины против герпеса, туберкулёза, холеры; в нефтехимической промышленности — новые формы дрожжей и бактерий, способных уничтожать разливы нефти.

» **Вспомним**, что гены — это участки ДНК хромосомы (несколько последовательно соединённых нуклеотидов), несущие информацию о строении одной молекулы белка или молекулы рибонуклеиновой кислоты (РНК), характерных для данного живого организма. Совокупность всех генов организма, содержащихся в хромосомах, называется геномом. По сути, геном — это зашифрованная информация об организме, инструкция по его рождению, росту, внешнему виду и поведению, размножению, старению и гибели. Представьте, что перед вами разобранный до мельчайших деталей игрушечный космический корабль. К нему придана инструкция по сборке — своеобразный «геном». Шаг за шагом, следуя инструкции, вы собираете космический аппарат. Естественно, в конечном счёте он должен выглядеть так, как показано на рисунке, а не превратиться в трактор или автомобиль. Если сборка проведена верно, ваш корабль будет представлять собой точную модель натурального объекта, который может взлететь и полностью выполнить программу космического полёта. Живой организм, в отличие от неодушевлённой конструкции, должен ещё оставить потомство, передав ему точную копию «технической характеристики» и «инструкцию по сборке» последующих поколений.

Клеточная инженерия — это метод конструирования клеток нового типа.

КЛЕТОЧНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ. В самом начале XX в. учёные-ботаники впервые высказали мысль о том, что если живую клетку извлечь из организма, то в питательной среде она сможет существовать, функционировать и даже размножаться. Спустя несколько лет эту гипотезу удалось экспериментально подтвердить на животных клетках, а в 30-х гг. прошлого столетия — на клетках растений.

Суть метода клеточной инженерии схематично можно описать так. От живого организма, например растения, берётся небольшой кусочек ткани, скажем, листовой пластинки. Мы помним, что каждая клетка хранит в себе полный набор генов (геном) этого растения, но функции клеток дифференцированы, т. е. клетки листочка отличаются от клеток стебля, корня или цветка. Следовательно, задача клеточной инженерии на первом этапе — сделать так, чтобы клетки листа «забыли» о своей миссии и превратились просто в набор растительных клеток. Полученная масса клеток делится, размножается, растёт их число, образуется целая клеточная колония, называемая *каллусной тканью*. Её можно разделить на несколько частей, а далее вновь превратить клетки каллусной ткани в клетки нужного органа растения: корня, листа или верхушечной почки. Достигается это введением в питательную среду особых химических веществ — *фитогормонов*. И вот уже каждый отдельный кусочек каллусной ткани приобретает вид маленького растения, способного к самостоятельному росту и развитию. Из небольшого кусочка листа мы получили десяток новых растений — точных копий родительского организма.

Вершиной достижений клеточной инженерии можно считать *клонирование* организмов — создание точной копии живого существа. Выведенные российским генетиком и селекционером академиком **В. А. Струнниковым** (1914—2005) клоны шелкопряда известны на весь мир: искусственно полученные насекомые трудятся над производством шёлковой нити куда лучше своих природных собратьев. Наиболее известный феномен клеточной инженерии — клонирование домашних животных. В 1997 г. весь мир облетела весть об овечке Долли — клоне своей матери (рис. 146). Долли появилась на свет в июле 1996 г. благодаря клеточной инженерии. Од-



Владимир
Александрович
Струнников



Рис. 146. Клонированная овечка Долли — точная копия материнского организма

нако клонирование животных на сегодняшний день представляет главным образом научный интерес. А вот выращивание новых тканей организма из отдельных клеток — уже реальность. Из клеток почки человека можно вырастить новый полноценный орган, который, в отличие от донорской почки, при пересадке не будет отторгаться организмом. Более того, появляется возможность производить ремонт повреждённого органа или выращивать запасной непосредственно в организме, а не в пробирке. Поистине клеточная инженерия способна творить чудеса!

Наиболее перспективным направлением сегодня является клонирование с использованием так называемых *эмбриональных стволовых клеток*. Вы прекрасно понимаете, что все клетки эмбриона в момент зачатия одинаковы. Главным свойством таких клеток является то, что генетическая информация, заключённая в их ядре, находится как бы в состоянии покоя, т. е. эмбриональные стволовые клетки ещё не запустили программы дифференциации в ту или иную ткань или орган. Удивительная способность этих клеток стать любыми клетками организма продиктована наличием в их ДНК всех генов, отвечающих за рост зародыша на ранней стадии развития эмбриона, т. е. генома. После получения специального сигнала эмбриональные стволовые клетки начинают своё превращение в клетки мозга, печени, сердца и т. д. Уникальность эмбриональных стволовых клеток также позволяет использовать их для выращивания огромного массива тканей и в принципе любого человеческого органа.

В биотехнологическом производстве клоны клеток используют как своеобразные химические фабрики для промышленного получения биологически активных веществ. Например, гормона эритропоэтина, который стимулирует образование красных кровяных телец, а также используется для предотвращения образования тромбов в кровеносных сосудах. Методами клеточной инженерии получены факторы свёртываемости крови для лечения страшного заболевания — гемофилии, инсулин для лечения диабета.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНЖЕНЕРИЯ. Вам хорошо известно, что все встречающиеся в природе живые организмы содержат ферменты — биологические катализаторы белковой природы, ускоряющие и регулирующие протекание миллионов биохимических реакций.

Биологическая инженерия — это методы использования микроорганизмов в качестве биореакторов для получения промышленной продукции.

Задача биологической инженерии состоит в разработке технологии промышленного получения практически важных веществ или осуществления промышленных процессов при участии ферментов, как содержащихся в микроорганизмах, так и выделенных в свободном состоянии.

Ферментативные процессы сегодня используются во многих отраслях промышленности:

в пищевой — для выпечки хлеба, получения кисломолочных продуктов, производства сыров, осветления соков и др.;

в кожевенной и текстильной — для отделения шерсти от шкур и выделки кожи;

в фармацевтической — для получения лекарственных препаратов;

в сельском хозяйстве — для защиты растений от вредителей и профилактики заболеваний.

Микробиологические технологии используют сегодня в такой необычной для биотехнологии сфере, как металлургия. Например, известно, что более 75% запасов золота находится в природе не в виде самородков или золотого песка, а в виде вкраплений внутри кристаллических решёток сульфидных минералов — пирита (FeS_2) и арсенопирита (FeAsS). Такое золото совершенно невозможно увидеть невооружённым глазом, а для его извлечения требуется химическое разрушение кристаллической решётки минерала — так называемое вскрытие породы. Как правило, вскрытие сульфидных минералов проводят обжигом руды. Но при этом в атмосферу выбрасывается огромное количество оксидов серы, потенциально опасных для окружающей среды и человека. Как альтернатива обжигу была разработана технология *микробиологического вскрытия пород*. Для этого руду измельчают и помещают в раствор кислоты с добавлением особых микроорганизмов. Они окисляют ионы двухвалентного железа до трёхвалентного, а атомы серы — до анионов серной кислоты. Продукты окисления растворяются в воде, а в нерастворимом осадке остаётся чистое золото. Процесс протекает с минимальными энергозатратами при комнатной температуре и значительно более эффективен, чем химические технологии. В Канаде, ЮАР и Португалии практикуется аналогичное извлечение урана из урансодержащих руд.

Стоит отметить также законченную в Институте микробиологии РАН работу над новым способом удаления метана в шахтах с использованием метанотрофных (питающихся метаном) бактерий. Нужно ли

говорить об актуальности этой работы на фоне сообщений средств массовой информации о трагедиях на угольных шахтах!

Наиболее перспективным направлением биологической инженерии является создание **иммобилизованных ферментов**.

Иммобилизованными ферментами называются искусственно получаемые препараты ферментов, молекулы которых связаны полимерным носителем, нерастворимым в воде.

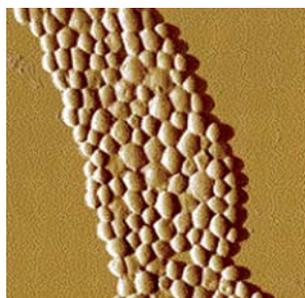


Рис. 147. Мембрана с иммобилизованными клетками дрожжей

Такие ферменты широко применяются на производстве. Например, получаемая из дрожжей (рис. 147) инвертаза используется для изготовления искусственного мёда, лактаза — для производства концентрированных кисломолочных продуктов без консервантов, а уреазы — для очистки крови в аппарате «искусственная почка». К иммобилизованным ферментам относятся бактериальные протеазы, которые применяются для производства синтетических моющих средств (энзимы, содержащиеся в них, позволяют удалять с тканей пятна крови, чая и т. д.), в кожевенном производстве (для удаления шерсти и дубления кож), резинотехнической промышленности (для получения губчатого латекса путём ферментативного разложения пероксида водорода).

Поистине прав был М. В. Ломоносов, сказав: «Широко распространяет химия руки свои в дела человеческие!»



Далее речь пойдёт о нанотехнологии, мы выясним, что она собой представляет, где применяется и какое имеет значение для развития энергетики, электроники, сельского хозяйства.

Теперь вы знаете

- ▶ три этапа в развитии биотехнологии
- ▶ задачи генной инженерии
- ▶ что такое клеточная инженерия
- ▶ задачи биологической инженерии

Теперь вы можете

- ▶ дать определение процесса брожения

- ▶ охарактеризовать генетически модифицированные организмы и трансгенные продукты, а также способы их получения
- ▶ объяснить, что такое клонирование и в чём уникальность эмбриональных стволовых клеток
- ▶ описать технологию микробиологического вскрытия пород и перечислить области применения иммобилизованных ферментов

🕒 Выполните задания

1. Назовите биологические дисциплины, на интеграции которых базируются достижения новейшей биотехнологии.
2. Дайте характеристику этапов становления биотехнологии как отрасли производства.
3. Сформулируйте, что такое генная инженерия, клеточная инженерия и биологическая инженерия, иммобилизованные ферменты.
4. Приведите примеры генетически модифицированных растений и животных, в чём их преимущества.
5. Объясните, что такое каллусная ткань и фитогормоны и в каких процессах они задействованы.
6. Проанализируйте процесс выращивания новых тканей организма из отдельных клеток и сделайте вывод о его перспективах для человечества.
7. Перечислите химические элементы, которые входят в состав минералов пирита и арсенопирита, упомянутых в параграфе, расскажите об их местоположении в Периодической системе химических элементов, рассчитайте массовую долю каждого элемента в составе данных минералов.

🕒 Темы для рефератов

1. Генная инженерия: успехи и перспективы.
2. Генно-модифицированные продукты: за и против.
3. Клеточная инженерия: чудеса современной медицины.
4. Биологическая инженерия в металлургии.
5. Стволовые клетки на службе человека.

§ 34. Нанотехнология

1. Объясните, как происходит синтез белков, жиров, углеводов.
2. Дайте характеристику полимеров, композитных материалов.
3. Приведите примеры экологических катастроф и загрязнения окружающей среды в XXI в.

ПОНЯТИЕ НАНОТЕХНОЛОГИИ. В сказках, легендах, преданиях разных народов мира вы наверняка встретите героев, отличающихся необыкновенно малыми размерами: Дюймовочка, Мальчик-с-пальчик, Нильс, лилипуты, Крошечка-хаврошечка. И это не случайно, поскольку благодаря своему малому росту такой герой мог совершать то, что не под силу обычному человеку: жить в бутоне цветка, путешествовать на спине гуся, залезать в одно ушко, а вылезать из другого.

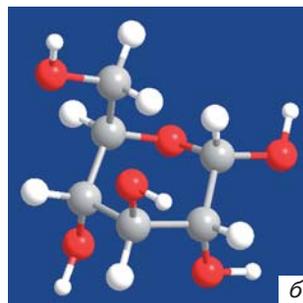
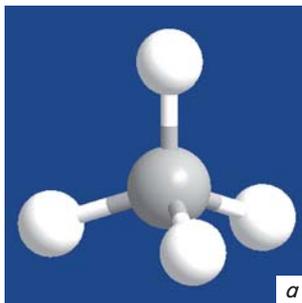
Почему мы вдруг заговорили о народном эпосе? Да потому что возможности той области науки, о которой мы сейчас будем говорить, фантастические. Вы и сами не раз убеждались в том, что благодаря современному естествознанию от сказки до реальности порой всего один шаг.

» **Напомним**, что метан — это один из важнейших энергоносителей, главная составляющая природного газа, добыча, транспортировка и экспорт которого составляют основу экономического благополучия многих стран мира.

Наверное, вам приходилось собирать из школьного набора атомов модели молекул. Модель молекулы метана CH_4 (рис. 148, *а*) вы можете собрать из одного атома углерода и четырёх атомов водорода.

Модель более сложной молекулы — глюкозы $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ (рис. 148, *б*) — вы собрали бы из атомов-шариков за пару минут. Тем не менее химический синтез глюкозы из более про-

Рис. 148. Модели молекул: *а* — метана; *б* — глюкозы



стых веществ учёные и технологи до сих пор не могут проводить в промышленном масштабе. Лучше, чем это делают клетки зелёных растений в присутствии хлорофилла (процесс фотосинтеза), синтезировать глюкозу ещё не научился никто.

Теперь представьте, что вы, словно сказочный герой, уменьшились до размеров атомов и молекул, т. е. до наноразмеров.

Размеры крупных молекул составляют порядка десятков нанометров, а радиусы атомов, как правило, менее 1 нм. И вот перед вами целый набор-конструктор атомов самых разных химических элементов, из которых можно сконструировать молекулы любых полезных веществ — антибиотиков, красителей, полупроводников, полимерных материалов, компонентов пищи, наконец. Вы можете создать любое нужное вам вещество! Но где же взять эти исходные атомы? Ведь вы знаете, что изолированные атомы (за исключением атомов благородных газов) в природе не встречаются. Вспомните, что все окружающие нас вещества состоят из атомов менее чем 100 химических элементов, — это весьма ограниченный набор. Таким образом, теоретически вы (будучи наночеловечком) можете разбирать на атомы молекулы ненужных вам веществ и материалов (бытового мусора, промышленных выбросов, сельскохозяйственных отходов) и собирать из них молекулы практически ценных веществ. Фантастика, сказка? Оказывается, нет. Это одно из направлений новейшей области естественно-научных исследований, которая называется **нанотехнология**.

» **Напомним**, что $1 \text{ нм} = 1 \cdot 10^{-9} \text{ м}$, это одна миллиардная часть миллиметра.

Под нанотехнологиями понимают управляемый синтез молекулярных структур для получения веществ и материалов непосредственно из атомов и молекул с помощью специальных устройств, действующих на основе искусственного интеллекта; к нанотехнологиям относят процессы манипулирования объектами, имеющими размер от 1 до 100 нм.

По своим размерам наночастицы занимают промежуточное положение между макрообъектами, на которые распространяются законы классической механики, и объектами микромира (атомами, молекулами, фундаментальными частицами), в котором действуют законы квантовой механики. Поэтому наночастицы обладают специфическими физическими и химическими свойствами, обуславливающими их невероятные функциональные возможности.

ДВА ПОДХОДА В НАНОТЕХНОЛОГИИ. В нанотехнологии существуют два подхода. Их принято условно называть «сверху — вниз» и «снизу — вверх».

Первый подход — «сверху — вниз» основан на уменьшении размеров обрабатываемого сырья или материалов до микроскопических параметров. Так, например, получают полупроводниковые устройства, обрабатывая заготовки для них лазерными или рентгеновскими лучами. Другим примером дробления вещества до наноразмеров может служить так называемая импринт-литография. На резиноподобный полимер наносят наноузор с помощью особых инструментов, который затем покрывается своеобразными молекулярными чернилами. Оттиски такой «резиновой печати» можно делать на любой поверхности (например, для получения компьютерных чипов наноскопических размеров). В результате получается нужная конфигурация электрической схемы. Разрешающая способность устройства определяется длиной волны лазера. Таким образом получают схемы с размером элементов до 100 нм.

Второй подход нанотехнологии — «снизу — вверх» состоит в том, что необходимая конструкция осуществляется сборкой из более мелких элементов (атомов, молекул и т. д.). Для этого типа нанотехнологии применяются инструменты зондового сканирования. Они могут двигать атомы или молекулы по поверхности подложки, толкая или поднимая их. В этом случае зонд сканирующего инструмента выступает в роли своеобразного пинцета наномира.

Основными методами такого подхода в нанотехнологиях являются молекулярный синтез, самосборка, наноскопическое выращивание кристаллов и полимеризация.

МОЛЕКУЛЯРНЫЙ СИНТЕЗ И САМОСБОРКА. В технологии поэлементной сборки наноустройств рассмотрим сначала методы **молекулярного синтеза** и **самосборки**.

Молекулярный синтез заключается в создании молекул с заранее заданными свойствами путём их сборки из молекулярных фрагментов или атомов.

Таким образом производятся медикаменты. Множество современных лекарств, включая антибиотики нового поколения, являются продуктами молекулярного синтеза. Кроме синтеза самих лекарств нанотехнология решает вопросы их доставки непосредственно в поражённые участки организма. Доза лекарственного препарата заключается в особую молекулярную оболочку, позволяющую транспортировать лекарство к месту назначения.

Самосборка — это метод нанотехнологий, основанный на способности атомов или молекул самостоятельно собираться в более сложные молекулярные структуры.

Принцип самосборки основан на принципе минимума потенциальной энергии — постоянном стремлении атомов и молекул перейти на самый нижний из доступных для них уровней энергии. Если этого можно добиться, соединившись с другими молекулами, то такое соединение будет происходить самопроизвольно; если же для этого нужно изменить своё положение в пространстве, то молекулы переориентируются. Своеобразной иллюстрацией принципа минимума потенциальной энергии может служить древнегреческий миф о Сизифе, который с трудом поднимал камень на вершину горы, а тот упорно стремился скатиться вниз по склону, т. е. занять наименьший уровень потенциальной энергии.

В живых организмах самосборка является основой процессов ассимиляции, т. е. процессов синтеза белков, жиров, углеводов, полинуклеотидов, необходимых конкретному живому организму. Структурирование и сборка биологических тканей происходит на атомно-молекулярном уровне, причём живые организмы осуществляют их с высокой эффективностью. Наноконструкторы помещают определённые атомы или молекулы на поверхность подложки. Далее исходные молекулы ориентируются в пространстве, собираясь в определённую наноструктуру. Отпадает необходимость медленного и нудного конструирования такой структуры с помощью зондового инструмента. В этом и состоит преимущество самосборки. В настоящее время с помощью самосборки возможно создание компьютерных запоминающих устройств. Таким же образом изготовлены опытные образцы *гидрофильного* (любящего воду) и *гидрофобного* (боящегося воды) стёкол, которые могут найти широкое применение, например, в автомобилестроении, производстве прозрачных строительных материалов, в оптике.

НАНОСКОПИЧЕСКОЕ ВЫРАЩИВАНИЕ КРИСТАЛЛОВ И ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ. Кремниевые блоки, используемые для создания микрочипов, производятся наноскопическим выращиванием кристаллов.

Наноскопическое выращивание кристаллов — это нанотехнология, при которой кристаллы можно получать из раствора, используя кристаллы-зародыши (центры кристаллизации).

Этот метод можно использовать и для выращивания длинных, стержнеподобных углеродных нанотрубок. Они представляют собой совершенно новый материал, обладающий уникальными свойствами. Нанотрубки могут быть полупроводниковыми или металлическими.

Наибольший интерес представляют **углеродные полупроводниковые нанотрубки**, которые имеют форму крошечных цилиндров с диаметром от 0,5 до 10 нм и длиной примерно в 1 мкм. Однослойные на-

нотрубки можно представить себе в виде свёрнутого в рулон одного слоя графита. Такие цилиндрики способны поглощать и удерживать водород в больших количествах, поэтому представляют собой ценный материал для создания двигателей на водородном топливе и водородных батарей.

Многослойные нанотрубки имеют высокий предел прочности на растяжение — в 50—60 раз больше, чем у высококачественных сталей, и в тысячи раз выше, чем у традиционных волокон. Это позволяет использовать их при изготовлении материалов для пуленепробиваемых жилетов и стёкол, а также для производства сейсмоустойчивых строительных материалов.

Углеродные нанотрубки имеют очень низкую плотность, что позволяет получать из них высокопрочные композиционные материалы, потребность в которых испытывают военная и авиационно-космическая промышленность, а также автомобилестроение. Специалисты компании «High Lift Systems» (США) задумали грандиозный проект —

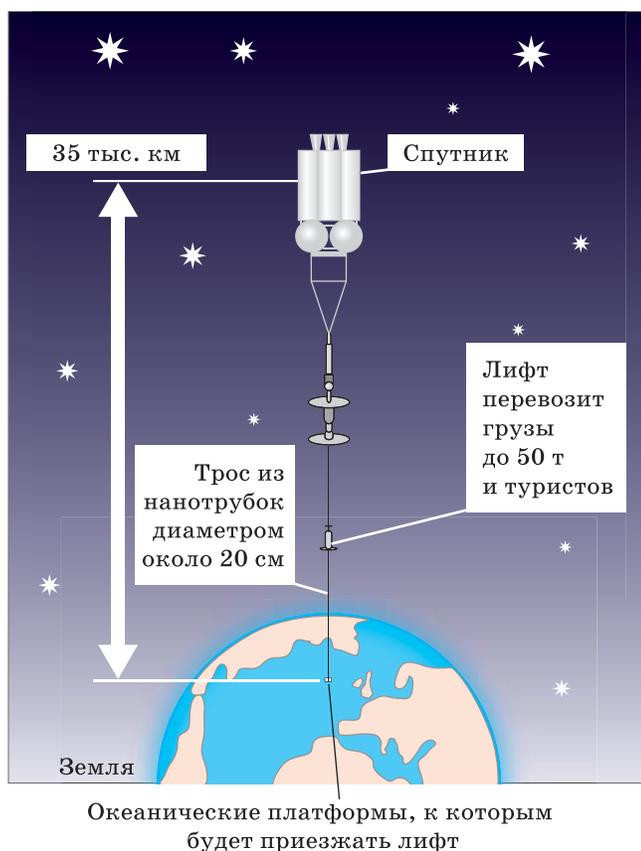


Рис. 149. Нанотехнологии и космос будущего

космический лифт. Идея проста, как всё гениальное. Трос длиной 35 тыс. км и диаметром 20 см одним концом прикреплен к океанической платформе, а за второй его конец «привязана»... орбитальная космическая станция! По этому тросу от Земли в космос будет двигаться лифт, способный поднять на орбиту до 50 т груза, в том числе космических туристов (рис. 149). Трос поддерживается в натянутом состоянии за счёт двух противоположно направленных сил: силы земного притяжения и центробежной силы, действующей на космическую станцию. Материалом для изготовления троса предположительно должны служить нанотрубки, имеющие колоссальную прочность и в то же время чрезвычайно лёгкие. Такой лифт позволил бы сэкономить значительные средства, поскольку доставка на орбиту Земли 1 кг груза обычной космической техникой обходится в 50—80 тыс. долларов! Вот только стоить строительство такого моста к звёздам будет не менее 10 млрд долларов.

Учёные установили, что внутренняя поверхность углеродных нанотрубок обладает большой каталитической активностью. Считается, что при сворачивании графитового листа из атомов углерода в трубку концентрация электронов на её внутренней и внешней поверхностях становится неодинаковой, что и обуславливает каталитический эффект. Если ввести внутрь углеродной трубки наночастицу переходного металла, например родия (Rh), каталитический эффект усиливается. Смесь оксида углерода (II) CO и водорода H₂, называемая синтез-газом, при прохождении через такой каталитический комплекс превращается в этанол (этиловый спирт). Эту реакцию невозможно осуществить в иных условиях.

***Полимеризация** — это метод нанотехнологий, в основе которого лежит получение наноматериалов в виде полимеров из исходных мономеров с помощью реакций полимеризации или поликонденсации.*

Для осуществления этого метода применяют так называемые генные машины, позволяющие синтезировать из отдельных фрагментов дезоксирибонуклеиновые кислоты (ДНК), необходимые для производства медикаментов, ферментов или белков заданного строения. Синтезированные шаблоны ДНК вводятся в ДНК бактерий, которые затем производят множество копий нужного вещества. Это позволяет эффективно строить белковые фабрики для получения практически любого выбранного протеина. Примером практического применения данной нанотехнологии является получение инсулина для лечения диабета.

НАНОТЕХНОЛОГИИ В РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЯХ НАУКИ И ТЕХНИКИ. Нанотехнологии сегодня — эффективно и динамично развивающаяся об-

ласть науки и техники, в которой тесно переплетаются теоретические разработки и экспериментальные исследования. Развитие нанотехнологий и разработку методик создания и изучения нановещества называют одним из самых перспективных направлений научной и конструкторской мысли. Не случайно один из создателей американской водородной бомбы, *Э. Теллер* (1908—2003), ещё в середине XX в. сделал прогноз: «Тот, кто раньше овладеет нанотехнологией, займёт ведущее место в техносфере следующего столетия».

В России исследования в области нанотехнологий быстрыми темпами начали развиваться с 2000 г. В Российской академии наук в 2002 г. был создан научный совет по наноматериалам, в федеральную научно-технологическую программу в качестве одного из приоритетов было внесено направление «Индустрия наносистем и материалов» с финансированием более 3 млрд рублей.

Общество уже может гордиться первыми результатами использования нанотехнологий в различных сферах деятельности.

Энергетика. Альтернативой использования ископаемого топлива (природного газа, нефти, угля и др.) является применение фотоэлектрических элементов, которые непосредственно превращают солнечный свет в электрическую энергию, — так называемых солнечных батарей. В основе таких устройств лежит кремний, реже — германий. Кремниевые фотоэлементы используются в жилищном строительстве и промышленном производстве, в калькуляторах и т. п. Солнечный свет фокусируется на полупроводнике, в роли которого выступает один кристалл кремния или его поликристалл. Получение таких кристаллов и является задачей нанотехнологии.

Другой альтернативой использования энергии, получаемой от сжигания ископаемого топлива, является создание новых топливных элементов, в роли которых могут выступать углеродные нанотрубки, обладающие высокой адсорбционной способностью к водороду.

Электроника. Важнейшим техническим достижением второй половины XX столетия является развитие электроники. В наши дни компьютеры пришли не только во все сферы деятельности общества (банки, почта, транспорт, производство, наука), но и в большинство семей.

В современной науке возникло новое понятие для обозначения крошечного объёма вещества кубической или сферической формы, в котором можно хранить небольшое количество электронов, — **квантовая точка**. Если в большинстве полупроводниковых устройств и приборов (например, в транзисторах) процессы включения и выключения («on — off») управляются потоком от сотен тысяч до одного миллиона электронов, то квантовые точки управляют движением малоэлектронных или даже одноэлектронных транзисторов. Это позволяет сделать

полупроводниковые устройства микроскопически миниатюрными и снизить затраты энергопотребления в тысячи раз.

Уже сейчас нанотехнология позволяет изготавливать полупроводниковые элементы размером 100 нм. В перспективе габариты таких элементов будут снижены до 35—50 нм. Такую возможность предоставит использование в электронной промышленности углеродных нанотрубок и запоминающих устройств нового типа. В свою очередь, это позволит повысить скорость передачи информации примерно до 10 Гбит/с. Кроме этого, важное значение имеет совершенствование техники хранения информации. Эта задача решается путём создания терабитовых запоминающих устройств — степень плотности записанной с их помощью информации в 1000 раз больше, чем на обычных носителях.

М е д и ц и н а. Нанотехнологии позволяют организовать массовое производство биодатчиков, способных длительное время осуществлять мониторинг внутри организма человека. Это даст возможность проводить раннюю диагностику некоторых заболеваний. Кроме того, нанотехнологии позволят использовать для диагностики и лечения особые устройства, называемые нанороботами. Введённые в организм человека, они смогут очистить сосуды от атеросклеротических отложений, уничтожить молодые раковые опухоли, исправить повреждённые молекулы ДНК, доставить лекарство к конкретным органам и даже клеткам.

С помощью нанотехнологии создаются наноинструменты, используемые в медицине. Так, уже появились наноманипуляторы и наноиглы. Например, для изготовления нанопинцета применяются две углеродные нанотрубки диаметром в 50 нм, расположенные параллельно на подложке из стеклянного волокна. Эти трубки сходятся и расходятся при подаче на них напряжения, имитируя пинцет. Учёные из Новосибирска сделали наноиглы, способные производить инъекции внутрь клеток.

А в и а ц и я и к о с м о н а в т и к а. В авиации нанотехнологии применяются прежде всего при создании новых конструкционных материалов. С помощью нанотехнологий создаются термостойкие керамические композитные материалы (т. е. материалы, состоящие из двух и более компонентов), способные выдерживать температуру +1000—1600 °С, и полимерные композиты, выдерживающие температуру +200—400 °С. В космонавтике требования к композитам ещё выше: они должны быть термостойкими (выдерживать температуры около +3000 °С), сверхлёгкими и сверхпрочными. Именно такие материалы были использованы при изготовлении космических кораблей многоразового использования: нашего «Бурана» и американских «Шаттлов».

Сельское хозяйство. Продовольственная проблема является глобальной для человечества. Мы с вами становимся свидетелями неуклонного роста цен на продукты питания. Одно из решений продовольственной проблемы человечества заключается, как уже было сказано, в широком применении генной инженерии и биотехнологии для создания сортов растений с повышенной урожайностью и питательной ценностью, а также в создании высокопродуктивных пород животных и штаммов микроорганизмов.

Наноинструменты и ферментативные методики, применяемые в биотехнологии и генной инженерии, позволяют решать эти задачи более быстрыми темпами. Так, бурно эволюционирует производство всё новых сортов хорошо известной каждому генно-модифицированной сои. Традиционные сорта помидоров, картофеля, кукурузы, гороха, пшеницы, риса и т. д., а также экзотических батата и папайи в сельскохозяйственной практике уступают место созданным с помощью генной инженерии сортам, устойчивым к сорнякам и вредителям и обладающим повышенной урожайностью.

Экология. К проблемам защиты окружающей среды, которые можно решить с помощью нанотехнологий, относятся повышение температуры атмосферы Земли, разрушение озонового слоя, загрязнение среды диоксином, кислотные дожди.

Средняя температура Земли только за 40 лет прошлого столетия выросла на 0,5 °С. Прогнозируется, что в новом столетии средняя температура возрастёт ещё на 3 °С. Последствия этого грозят человечеству многими бедами: уровень Мирового океана поднимется на 65 см (будут подтоплены прибрежные территории многих стран), произойдёт кардинальное изменение климата, смещение природных зон и т. п. Нанотехнологии дают возможность уменьшить температурные воздействия на атмосферу Земли с помощью альтернативных источников энергии, совершенствования солнечных батарей и уменьшения оксида углерода (IV) в выхлопных газах.

С применением нанотехнологий синтезируют новые материалы, способные заменить хлорсодержащие полимеры; создают биодатчики длительного и точного мониторинга за окружающей средой; производят нанопорошки для борьбы с загрязнением окружающей среды (и в первую очередь с разливами нефти); делают наночастицы, позволяющие предотвращать поступление диоксида и других отходов в окружающую среду (в том числе оксидов серы и азота). Для достижения последней цели немаловажную роль могут сыграть и созданные с помощью нанотехнологии катализаторы и носители для них.

Оптика. Уменьшение размеров кристаллических зёрен до наноразмеров позволяет создавать из стеклообразных веществ новые оптические материалы с очень высокими и регулируемыми коэффициентами преломления, изменением окраски, прочности и т. п. Такие мате-

риалы называют наностёклами. Они могут использоваться для создания высокоэффективных устройств хранения и передачи цифровой информации, а в сочетании с коротковолновыми лазерами позволят производить сверхмощные оптические запоминающие устройства и плёночные материалы с повышенной чёткостью изображения. Наностёкла могут применяться для изготовления оптических переключателей и тонких оптических волноводов. В сознании обывателя очки «хамелеоны» и изменяющие интенсивность затемнения автомобильные стёкла редко связываются с представлениями о наномире, а ведь это именно так.



Ричард
Филлипс Фейнман

Передовые технологии и материалы всегда играли значимую роль в истории цивилизаций, выполняя не только производственные, но и социальные функции. Достаточно вспомнить, как сильно отличался каменный век от бронзового, век пара от века электричества, атомной энергии и компьютеров. По мнению экспертов, нынешний век будет веком нанонауки и нанотехнологий, которые и определяют его лицо. Знаменитый американский физик **Р. Ф. Фейнман** (1918—1988), который в 1959 г. первым высказал идею конструирования веществ и материалов путём манипулирования отдельными атомами, утверждал, что проникновение в наномир — это бесконечный путь человечества, на котором он практически не ограничен материалами, а следует лишь за собственным разумом.

Вместе с тем опыт последних двух тысячелетий развития человечества показывает, что лучшие научные достижения находят применение в первую очередь в разрушительных целях. Так было и с порохом, и с паровой машиной, и с атомной энергией. Чтобы нанотехнологии не превратились из всеобщего блага в страшную машину уничтожения всего живого на Земле, потребуются ваш разум, ваша гражданская позиция, ваше понимание законов естествознания.



Следующий параграф будет посвящён комнатным и декоративным растениям и их значению в жизни человека.

Теперь вы знаете

- ▶ что такое нанотехнологии
- ▶ два подхода в нанотехнологии
- ▶ что такое молекулярный синтез и самосборка

- ▶ как происходит наноскопическое выращивание кристаллов и полимеризация
- ▶ какова роль нанотехнологии для различных областей науки и техники

☉ Теперь вы можете

- ▶ объяснить, почему наночастицы обладают специфическими физическими и химическими свойствами, обусловившими их уникальные функциональные возможности
- ▶ описать метод импринт-литографии
- ▶ определить практическое значение нанотехнологий для развития электроники, медицины, сельского хозяйства, экологии, оптики, авиации, космонавтики и других областей человеческой деятельности

☉ Выполните задания

1. Назовите методы в нанотехнологиях, применяемые в подходе «снизу — вверх», «сверху — вниз». Охарактеризуйте практическое применение каждого метода.
2. Объясните, что представляют собой нанотрубки. В каких областях человеческой деятельности они могут использоваться?
3. Диаметр углеродной нанотрубки равен $0,000000052$ м. Переведите эту величину в сантиметры, миллиметры, нанометры, каждое из чисел представьте в стандартном виде.
4. В 1982 г. знаменитый польский фантаст Станислав Лем в своём романе «Проверка на месте» описал сверхминиатюрных роботов размером с молекулу, которые «трудятся», например, в организме человека, улучшая его здоровье. Приведите примеры веществ молекулярного и немолекулярного строения, назовите типы химической связи, которые вы знаете.
5. Расскажите о грандиозном проекте космического лифта, который хотели осуществить с помощью углеродных нанотрубок.

☉ Темы для рефератов

1. Научная деятельность нобелевского лауреата Р. Фейнмана.
2. Квантовые точки, их методы получения и применение.
3. Нанотехнологии в произведениях научной фантастики (литература, кино).
4. Развитие nanoиндустрии в России: успехи и трудности.

§ 35. Физика и повседневная жизнь человека

1. Опишите опыты Г. Герца, которыми он доказал существование электромагнитных волн.
2. Назовите фамилии русского и итальянского учёных — изобретателей радио.
3. Расскажите о первой отечественной телебашне и её создателе.
4. Перечислите операторов сотовой связи в России.
5. Один из самых известных чешских писателей XX в. придумал слово «робот», назовите его имя, а также перечислите известные вам кинофильмы, рассказывающие о роботах, искусственном интеллекте, киборгах, андроидах и т. п.

НАГРЕВАТЕЛЬНЫЕ И ОСВЕТИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ. Наше жилище буквально напичкано разного рода электронными устройствами и электрическими приборами. Рассмотрим принципы работы нагревательных приборов. В этих приборах и устройствах используется свойство металлических проводников нагреваться при прохождении по ним электрического тока. Основу электронагревательных приборов, таких как утюг, чайник, кофеварка, электрический обогреватель и т. п., составляет *нагревательный элемент*, температура которого возрастает при прохождении по нему электрического тока.

Нагревание металлического проводника происходит из-за столкновения электронов, движущихся направленно, с ионами кристаллической решётки. При этом кинетическая энергия электронов превращается во внутреннюю энергию металла, что приводит к повышению температуры. Энергия нагревательного элемента в процессе теплообмена передаётся воде в чайнике, ткани, которую гладят утюгом, окружающему воздуху.

При прохождении электрического тока по проводнику его температура может повыситься настолько, что проводник будет светиться. Это явление используется в осветительных приборах, в частности в *лампах накаливания*. Однако лампа накаливания — низкоэффективный источник света. Максимум её энергии излучения приходится на инфракрасный диапазон длин волн, на видимый свет приходится лишь малая доля излучаемого света. Обычная лампа накаливания только 10% получаемой энергии излучает в виде полезного света, остальные 90% тратятся на нагревание спирали, баллона, окружающего воздуха.

Увеличить эффективность ламп накаливания можно, повысив температуру нити. Для этого колбу заполняют газом под высоким давлением и получают *галогенную лампу*. Такие лампы используются в проекторах, автомобильных фарах и т. п. Галогенная лампа излучает в видимом диапазоне до 15% затраченной энергии.

В настоящее время лампы накаливания и галогенные уступают место другим, более экономичным лампам — *люминесцентным и светодиодным*. В быту используются преимущественно люминесцентные лампы.

Люминесцентная лампа — это газоразрядный источник света. Она заполнена инертным газом и парами ртути. В противоположные концы лампы вставлены электроды. При прохождении по лампе электрического тока пары ртути излучают ультрафиолетовый свет. Её внутренняя поверхность покрыта слоем люминофора. Люминофор поглощает ультрафиолетовый свет и излучает видимый свет. Световая отдача люминесцентной лампы в несколько раз больше, чем у ламп накаливания такой же мощности, а срок службы может превышать срок службы ламп накаливания в 20 раз.

Ещё более экономичной является светодиодная лампа. Светящимся элементом в этой лампе служит полупроводниковый диод. Можно представить, что атомы полупроводника содержат электроны проводимости и валентные электроны. Если в валентной зоне не хватает электронов, то свободное место может занять электрон проводимости. Если на диод подать напряжение (от 2 до 4 В) нужной полярности, то количество электронов, переходящих в валентную зону, увеличится. Электроны проводимости, переходя в валентную зону, теряют энергию; эта энергия может излучаться в виде света — это и есть принцип действия светодиодов. Можно сказать, что светодиод реализует наиболее прямой способ преобразования электрической энергии в свет. Цвет излучения зависит от энергии фотонов: при увеличении энергии осуществляется переход от красного цвета к фиолетовому.

Таким образом, КПД светодиода может быть достаточно близким к 100%. При этом светодиод излучает практически чистый спектральный цвет, что даёт возможность подобрать определённый цвет, выбирая в качестве основы соответствующий полупроводниковый материал.

МИКРОВОЛНОВАЯ ПЕЧЬ (СВЧ-ПЕЧЬ). В настоящее время СВЧ-печь становится незаменимым бытовым прибором. Это связано с тем, что с её помощью можно быстро разморозить продукты, за несколько минут приготовить и разогреть пищу. Микроволновая печь была изобретена сравнительно недавно: в 1942 г. американский инженер **П. Спенсер** (1894—1970) заметил, что сверхвысокочастотное излучение способно нагревать продукты. 25 октября 1955 г. американская «Тэппан компа-

ни» впервые представила бытовую микроволновую печь, а первая серийная бытовая микроволновая печь была выпущена японской фирмой «Шарп» в 1962 г.

Рассмотрим, как работает микроволновая печь. Микроволновое, или сверхвысокочастотное (СВЧ), излучение — это электромагнитные волны длиной от 1 мм до 1 м. Такой диапазон длин электромагнитных волн используется не только в микроволновых печах, но и в радиолокации, радионавигации, системах спутникового телевидения, сотовой связи.

В бытовых микроволновых печах используются волны, частота колебаний (ν) которых составляет 2450 МГц. Такая частота установлена для микроволновых печей специальными международными соглашениями, чтобы не создавать помех работе радаров и иных устройств, использующих микроволны. Длину волны (λ) можно рассчитать, разделив скорость электромагнитных волн (c), равную 300 000 км/с, на частоту колебаний:

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = 12,25 \text{ см.}$$

Процесс нагревания в микроволновой печи происходит следующим образом. В состав продуктов питания входят многие вещества: минеральные соли, жиры, сахар, вода. Они содержат полярные молекулы — диполи, о которых вы уже имеете представление. Это в первую очередь дипольные молекулы воды.

Когда электромагнитное поле отсутствует, диполи расположены хаотически. При наличии поля они выстраиваются в определённом порядке, магнитное поле на покоящиеся заряды не действует, а их ориентацию вызывает электрическое поле. При изменении направления электрического поля молекулы поворачиваются на 180° . Поскольку направление электрического поля изменяется с частотой 2450 МГц, т. е. 2 450 000 000 колебаний в секунду, то полярность диполей меняется за одну секунду 4 900 000 000 раз. Таким образом, под действием микроволнового излучения молекулы поворачиваются с огромной скоростью. Так как температура прямо пропорциональна средней кинетической энергии движения атомов или молекул вещества, то такое быстрое колебание молекул увеличивает температуру вещества. Выделяющаяся при этом энергия и является причиной разогрева пищи.

Микроволны не проникают в продукты и пищу глубже 1—3 см, поэтому полное их нагревание происходит как за счёт прогревания сверхвысокочастотным излучением верхних слоёв, так и за счёт проникновения энергии вглубь благодаря теплопроводности.

Необходимо знать, что микроволновая печь безопасна при эксплуатации, никакого вредного воздействия на человеческий организм при соблюдении правил эксплуатации она не оказывает. Сам механизм приготовления пищи с помощью микроволн обуславливает сохране-

ние молекулярной структуры, а значит, и вкусовых качеств продуктов. Приготовление пищи в микроволновой печи позволяет обходиться без применения жиров, которые, будучи нагреты до высокой температуры в процессе жарки, вредны для здоровья.

Существует несколько правил, которые следует выполнять при пользовании микроволновой печью. В частности, нельзя помещать в микроволновую печь металлические предметы (это может привести к повышению их температуры и оплавлению, на заострённых металлических предметах может появиться электрический разряд), а также плотно закрытые ёмкости (бутылки, консервные банки, контейнеры с продуктами и т. п.) и яйца (не важно, сырые или варёные). Всё это при нагреве может разорваться и привести печь в негодность. Продукты питания, имеющие кожицу или оболочку (например, помидоры, сосиски и т. п.), тоже могут «взорваться» в микроволновой печи. Поэтому, перед тем как помещать их в печь, следует проколоть оболочку или кожицу. В этом случае образующийся внутри пар сможет выйти наружу. Нельзя включать пустую печь, без единого предмета, который поглощал бы микроволны. В качестве минимальной загрузки печи при любом её включении принят стакан воды (200 мл).

ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ И ПЛАЗМЕННЫЕ ЭКРАНЫ И ДИСПЛЕИ. В настоящее время телевизоры и мониторы с электронно-лучевыми трубками уходят в прошлое, им на смену приходят *жидкокристаллические (ЖК) и плазменные экраны и мониторы*. Дисплей на жидких кристаллах используется для отображения информации в компьютерных мониторах, ноутбуках, телевизорах, телефонах, цифровых фотоаппаратах, электронных книгах, навигаторах, калькуляторах, часах, а также во многих других электронных устройствах.

ЖК-экраны сделаны из жидкокристаллического вещества *цианофенила*. Особенностью жидких кристаллов является то, что упорядоченное расположение молекул сохраняется на больших расстояниях вдоль определённого направления. Поэтому они обладают анизотропией свойств, т. е. их свойства (в частности, оптические) в разных направлениях различны. Одним из таких свойств является прозрачность кристалла по отношению к световой волне. Это значит, что при одном расположении кристалла свет через него проходит, а при другом, перпендикулярном к первому, не проходит. ЖК-экран представляет собой множество маленьких сегментов, называемых **пикселями**, ориентация которых может изменяться. В ходе исследований была обнаружена связь между повышением электрического напряжения и изменением ориентации молекул кристаллов, в результате чего регулируется способность кристалла пропускать свет. Это и обеспечивает создание изображения.

К преимуществам ЖК-мониторов и ЖК-телевизоров относятся их малые размеры и масса по сравнению с мониторами на основе электронно-лучевой трубки. У ЖК-мониторов нет видимого мерцания, дефектов фокусировки лучей, помех от магнитных полей, проблем с чёткостью изображения. Энергопотребление ЖК-мониторов может быть существенно ниже по сравнению с мониторами с электронно-лучевой трубкой.

Плазменный экран (плазменная панель), в отличие от жидкокристаллического, содержит не жидкие кристаллы, а ячейки, наполненные газом (ксеноном, аргоном или неоном). Эти ячейки расположены между стеклянными пластинами, к которым присоединены электроды. Когда на электроды подаётся переменное напряжение, газ в ячейке отдаёт большую часть своих валентных электронов и становится ионизованным, т. е. переходит в состояние плазмы. Поскольку напряжение переменное, то ионы и электроны попеременно собираются у разных электродов. При определённом значении напряжения в плазме происходит электрический разряд, в результате которого возникает ультрафиолетовое излучение. Это излучение воздействует на люминофор (вещество, способное преобразовывать поглощаемую энергию в световое излучение; им покрыты стенки ячеек) и заставляет его излучать свет в видимом диапазоне.

Достоинством плазменной панели является то, что отсутствует мерцание изображения, картинка имеет высокую яркость и контрастность. Плазменная панель отображает около 16 млн цветовых оттенков, что является достаточно хорошим показателем.

ЭЛЕКТРОННЫЙ И ЖИДКОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ ТЕРМОМЕТРЫ. ДОМАШНИЕ РОБОТЫ. В настоящее время на смену жидкостному медицинскому термометру приходит электронный термометр. Принцип его работы такой же, как и нагревательных приборов, — зависимость сопротивления от температуры. Каждому значению температуры соответствует определённое значение сопротивления. Значения сопротивления обрабатываются и выводятся на дисплей в виде цифр, показывающих температуру.

Для измерения температуры используют также жидкокристаллические термометры. В основе измерения температуры лежит свойство жидких кристаллов менять свой цвет при изменении температуры. Из смесей жидкокристаллических веществ изготавливают температурные индикаторы в интервале температур от -20 до $+250$ °С. Индикатор представляет собой тонкую гибкую плёнку из жидкого кристалла. При наложении плёнки на поверхность предмета можно определить его температуру и её изменение со временем.

В последние годы широкое применение в домашнем хозяйстве находят робототехнические машины, или роботы.

***Робот** — это машина, предназначенная для воспроизведения физических и интеллектуальных функций человека и способная адаптироваться к реальным условиям окружающей среды.*

Поэтому естественным является желание возложить на них такие домашние работы, как стирка, уборка, глаженье, мытьё окон и пр. Среди домашних роботов вам знакомы автоматические стиральные машины с набором программ, посудомоечные машины, автоматические плиты с таймерами для приготовления пищи, хлебопечки и т. д.

Любой робот имеет исполнительное устройство и устройство программного управления. Устройство программного управления представляет собой электрические цепи, элементами которых являются полупроводниковые приборы. Оно позволяет полностью автоматизировать процесс стирки белья (стирку, полоскание, отжим, а в некоторых моделях и сушку) и осуществить его по заданной программе. Так же программируется работа посудомоечных машин, хлебопечек и других подобных устройств.

Настоящий робот-пылесос разработан фирмой «Электролюкс». Этот робот, диаметр корпуса которого равен 40 см, выполняет одну операцию, но при этом он сначала изучает периметр комнаты, запоминает все объекты, которые могут встретиться на пути, а затем собирает пыль. Сначала он обходит комнату по периметру, а затем по разным направлениям, обходя мебель и другие предметы. Форма и малые размеры позволяют пылесосу забираться в труднодоступные места.

РАДИОПЕРЕДАТЧИКИ И РАДИОПРИЁМНИКИ. Давайте выясним сначала, как работает простейший радиоприёмник. После того как были впервые осуществлены излучение и приём электромагнитных волн, встала задача использования их для передачи информации. Первое такого рода устройство было сконструировано **А. С. Поповым** (1859—1906) в 1895 г. Особое внимание при этом Попов обратил на устройство приёмника волн. К тому времени уже было известно, что при электрическом разряде мельчайшие металлические опилки сцепляются и их сопротивление уменьшается. На этом основано действие прибора для регистрации электромагнитных волн — **когерера**.



Александр Степанович
Попов

Когерер представляет собой стеклянную трубку с двумя электродами. В трубке находятся металлические опилки. Когда электромагнитная волна достигает когерера, соеди-

нённого с источником тока и гальванометром, то сопротивление опилок резко падает и стрелка гальванометра отклоняется. Сопротивление опилок восстанавливается после их встряхивания.

Попов, включив в приёмник электромагнитных волн (рис. 150) когерер (1), сделал его встряхивание автоматическим. Он соединил когерер с источником тока (2) и телеграфным реле (3). При замыкании когерера реле срабатывало, замыкалась цепь электроёмкого звонка (4), молоточек (5) звонка, притягиваясь к электромагниту (6), ударял когерер и встряхивал его. Чувствительность этого прибора сильно увеличилась после того, как Попов подключил к приёмнику антенну в виде провода.

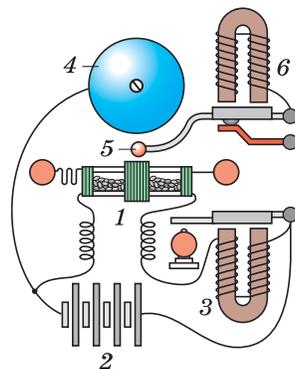


Рис. 150. Схема устройства приёмника Попова

Первые экспериментальные испытания прибора Попов провёл в Кронштадтской гавани, установив связь между кораблями «Россия» и «Африка», находившимися на расстоянии 640 м друг от друга. Последующие разработки Попова были направлены на увеличение дальности радиосвязи.

Дальнейшие разработки в области радиопередачи и радиоприёма были направлены на создание устройств, позволявших передавать голосовые сообщения. Проблема заключается в том, что звуковые волны, имеющие низкую частоту, не могут передаваться на большие расстояния, поскольку сильно поглощаются атмосферой. Для передачи звукового сигнала используют электромагнитные волны (высокочастотный сигнал), амплитуду которых изменяют в соответствии со звуковой частотой. Этот процесс называется **амплитудной модуляцией**.

Рассмотрим схему простейшего канала связи (рис. 151). Передатчик состоит из генератора колебаний высокой частоты, микрофона

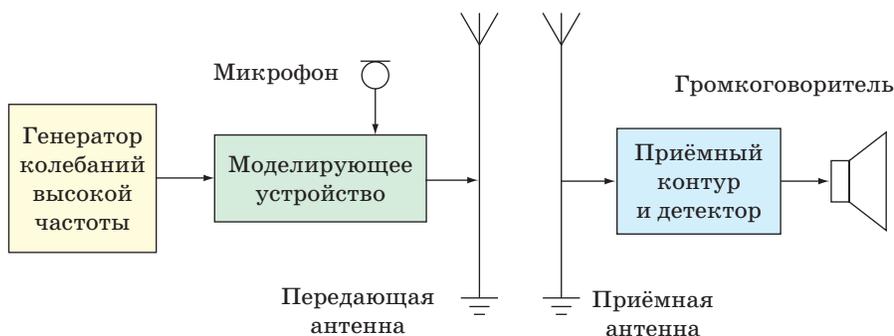


Рис. 151. Блок-схема простейшего канала связи

(источника колебания низкой частоты), модулятора, осуществляющего модуляцию колебаний, излучающей антенны. В приёмнике из модулированных колебаний высокой частоты выделяют низкочастотные колебания. Такой процесс называют **детектированием**. Приёмник состоит из антенны, принимающей модулированный сигнал, и колебательного контура, который настраивается в резонанс с излучённым сигналом. Кроме того, приёмник включает усилитель высокой частоты, детектор — устройство, пропускающее модулированный сигнал в одном направлении, и параллельно соединённые громкоговоритель и конденсатор, разделяющие высокочастотный и низкочастотный сигналы.

Современные радиоприёмники имеют более сложное устройство: полупроводниковые многокаскадные усилители высокой и низкой частот, способные принимать сигналы в широких частотных диапазонах.

ТЕЛЕВИДЕНИЕ И СПУТНИКОВАЯ СВЯЗЬ. С помощью радиоволн наряду со звуковым сигналом можно передавать изображения предметов. В основе телевизионной передачи изображений лежат три процесса: преобразование оптического изображения в электрические сигналы; передача электрических сигналов; преобразование принятого электрического сигнала в оптическое изображение.

Передаваемое изображение условно разбивается на ряд мелких участков — элементов изображения. Свет от каждого участка преобразуется с помощью специальных передающих устройств в импульс электрического напряжения, амплитуда которого тем больше, чем больше интенсивность света, испускаемого данным участком.

Возможны разные конструкции телевизионного передатчика — устройства, передающего изображение. Одним из них является передающая трубка **видикон** (рис. 152).

Видикон представляет собой электронно-лучевую трубку, в которой вместо светящегося экрана установлен светочувствительный полупроводниковый экран (1). Рассмотрим, как происходит преобразование полученного на экране изображения некоторого предмета в электрический сигнал. В видиконе установлена электронная пушка (2), которая создаёт электронный пучок. Этот пучок ускоряется и направляется на

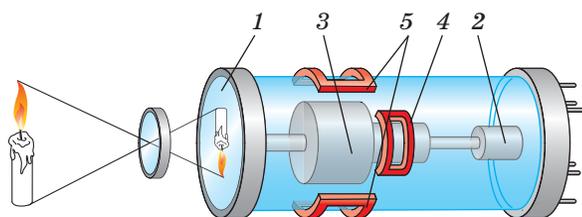


Рис. 152. Передающая трубка видикон

экран. Электроны бомбардируют экран и выбивают из него вторичные электроны, которые движутся к коллектору (3), имеющему более высокий потенциал, чем экран. При освещении экрана сопротивление полупроводника уменьшается, а сила тока на участке экран — коллектор возрастает. И чем больше освещённость того места экрана, на который падает электронный пучок, тем меньше его сопротивление и больше сила тока. Таким образом, освещённость и соответственно сопротивление разных участков экрана, на котором получено изображение некоторого предмета, различны. Две пары катушек, на которые подаётся напряжение, создают магнитные поля, управляющие электронным пучком. Под действием магнитного поля катушек (4) электронный пучок пробегает вдоль строки слева направо по горизонтали, а под действием магнитного поля катушек (5) — сверху вниз по вертикали. В итоге на выходе видикона возникает последовательность электрических импульсов, соответствующих передаваемому изображению. И за 0,04 с пучок пробегает 625 строк.

Как и в случае радиопередачи, этот сигнал непосредственно не может быть передан на расстояние: он модулируется высокочастотными колебаниями, которые и излучаются в пространство. Принятые приёмником модулированные колебания усиливаются и детектируются. Полученный от приёмника видеосигнал передаётся на устройство, преобразующее электрические импульсы в видимое изображение. Таким устройством может быть, например, электронно-лучевая трубка, называемая *кинескопом* (рис. 153).

В кинескопе, так же как и в видиконе, электронная пушка создаёт электронный пучок, который попадает на экран, покрытый люминофором. При ударе о него электронов люминофор начинает светиться. Снаружи трубки расположены две пары катушек, создающих магнитное поле при прохождении по ним электрического тока. Одна пара пластин отклоняет электронный пучок слева направо, другая сверху вниз, причём движение пучка в кинескопе совершается синхронно с движением пучка в видиконе: во время движения пучка в кинескопе вдоль первой строки им управляет сигнал, принятый при движении электронного пучка вдоль первой строки в видиконе. В итоге за $\frac{1}{25}$ секунды на экране кинескопа будет такое же изображение, которое было на экране видикона. Кадры сменяют друг друга с частотой 25 кадров в секунду, и в силу инертности зрения глаз воспринимает эту смену как непрерывную.

Для передачи телевизионного и радиосигнала на большие расстояния используют, во-первых, высокие антенны, а во-вторых, ретрансляторы, установленные на искусственных спутниках Земли. Преимущество спут-

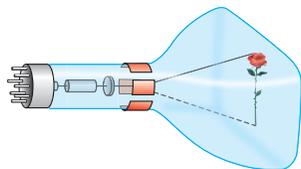


Рис. 153. Кинескоп

никовой связи перед наземной заключается в том, что ретранслятор, установленный на спутнике, находится на очень большой высоте относительно поверхности Земли — от сотен до десятков тысяч километров. Зона его «видимости» существенно увеличивается и составляет почти половину земного шара, поэтому отсутствует необходимость в создании серии ретрансляторов.

СОТОВАЯ СВЯЗЬ. В основе одного из видов мобильной связи лежит *сотовая сеть*. Такая сеть объединяет мощные скоростные компьютеры, базовые станции, распределённые по рабочей сети, мобильные телефоны. Для осуществления мобильной телефонной связи общая зона покрытия делится на несколько ячеек — сот в форме шестиугольников. Соты имеют определённый размер, их количество определяется зоной покрытия отдельных базовых станций. Базовые станции обычно располагают на крышах зданий и вышках, даже в небольших городах устанавливают несколько сотен вышек. Управляет всей мобильной связью в городе центр коммутации для мобильных телефонов. Он контролирует все телефонные звонки и базовые станции в данной местности, определяя местоположение подвижных абонентов и обеспечивая непрерывность связи при перемещении абонента из зоны действия одного приёмопередатчика в зону действия другого.

Каждый мобильный телефон имеет свой код — для распознавания телефона, его владельца и мобильного оператора. Когда мы включаем мобильный телефон, он ищет код идентификации на главном канале управления. Если телефон не может найти канал управления, значит, он находится вне зоны досягаемости и на экране высвечивается «Нет сети». При получении кода идентификации телефон сверяет его со своим кодом и при совпадении получает разрешение на подключение к сети. Центр коммутации фиксирует положение телефона в базе данных и может отсылать сообщения, зная, каким телефоном пользуется абонент. Он принимает звонки и может вычислить номер звонящего, проверить его в своей базе данных. Центр коммутации связывается с мобильным телефоном, чтобы сообщить, какую частоту использовать, и после этого телефон получает доступ в сеть.

Мобильный телефон поддерживает с базовой станцией постоянный радиоконтакт и при изменении местоположения переключается с одной базовой станции на другую.



Далее речь пойдёт о том, без чего немислим быт современного человека, о разных химических веществах и новых материалах. Это и моющие средства, и инсектициды, и косметика, и пищевые добавки, и т. п.

☉ Теперь вы знаете

- ▶ принцип работы микроволновой печи (СВЧ-печь)
- ▶ принципы устройства жидкокристаллических и плазменных экранов и дисплеев
- ▶ принципы работы радиопередатчиков и радиоприёмников
- ▶ принципиальные основы сотовой связи

☉ Теперь вы можете

- ▶ объяснить принцип работы нагревательных приборов
- ▶ объяснить отличие люминесцентной лампы от светодиодной
- ▶ назвать имя американского инженера, который изобрёл микроволновую печь
- ▶ сформулировать, что такое пиксели
- ▶ описать, как работает простейший радиоприёмник
- ▶ ответить на вопрос, почему сотовая связь называется сотовой

☉ Выполните задания

1. Опишите, какие виды ламп существуют, какие из них более экономичны в употреблении и почему.
2. Объясните, что представляет собой микроволновая печь (СВЧ-печь) и каков принцип её работы.
3. Проведите сравнительный анализ жидкокристаллических и плазменных телевизоров, сформулируйте, чем они отличаются друг от друга.
4. Назовите известных вам домашних роботов.
5. Охарактеризуйте процесс амплитудной модуляции и процесс детектирования.
6. Расскажите, что такое видикон и кинескоп, как они работают, что у них общее и в чём различия.
7. Определите, для чего каждому мобильному телефону нужен свой код идентификации.

☉ Темы для рефератов

1. Роботы-помощники. 2. История радио. 3. История телевидения. 4. Интернет и его роль в жизни современного общества. 5. Из истории сотовой связи.

§ 36. Химия в быту

1. Назовите древнегреческую богиню здоровья, дочь бога врачевания Асклепия (у древних римлян — Эскулап), от её имени пошло слово, обозначающее раздел профилактической медицины.
2. Объясните, чем грозит нашей планете производство дезодорантов в аэрозольных баллонах и почему.
3. Дайте характеристику гетеротрофных бактерий и расскажите о пользе, которую они приносят окружающей среде как санитары и поглотители органических остатков.
4. Опишите, в результате каких геологических процессов образуется пемза.

ДОСТИЖЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ: РАЗУМНЫЙ ПОДХОД. Писатель-фантаст и учёный-биохимик **А. Азимов** (1920—1992) писал в одной из своих повестей: «Химия — это смерть, упакованная в банки и коробки». Этот безапелляционный приговор можно адресовать не только химии, но и физике, биологии, транспорту — любой окружающей нас действительности. Мы не можем жить без электричества, но оголённый провод смертельно опасен, автомобиль нам просто необходим, но под его колёсами нередко погибают люди. Использование людьми достижений современной науки и техники требует высокой общей культуры, большой ответственности и, конечно, знаний. Например, такие необходимые для здоровья человека вещества, как лекарства, если их неразумно использовать при самолечении, могут быть исключительно опасными.

Различные химические вещества, смеси веществ, новые материалы настолько прочно вошли в наш быт, что мы просто не представляем себе жизни без их использования.

МОЮЩИЕ И ЧИСТЯЩИЕ СРЕДСТВА. В настоящее время мы широко используем *синтетические моющие средства (СМС) — детергенты*. В качестве основного компонента они содержат синтетические *поверхностно-активные вещества (ПАВ)*. Любое моющее средство должно обладать двойной функцией: способностью взаимодействовать с загрязняющим веществом (чаще всего жиром) и переводить его в воду или водный раствор. Для этого молекула моющего вещества должна иметь *гидрофобную* (водоотталкивающую) и *гидрофильную* (удерживающую воду) части. Гидрофобная часть молекулы представляет собой, как правило, длинный углеводородный радикал, охотно рас-

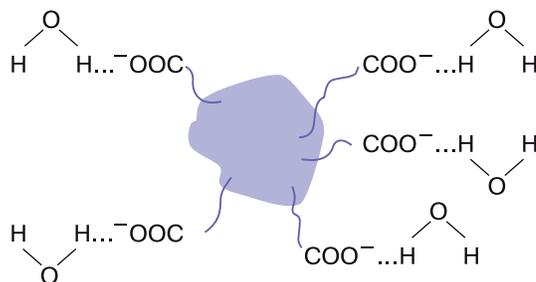


Рис. 154. Поверхностно-активные явления

творяющийся в жирах, но не терпящий воду. В качестве гидрофильной части может выступать функциональная группа карбоновых кислот (карбоксильная группа $-\text{COOH}$) или фрагмент серной кислоты $-\text{SO}_3\text{H}$. Гидрофобная часть молекул проникает в загрязняющее вещество (жир), в результате поверхность каждой частицы или капельки загрязнения оказывается как бы окружённой оболочкой гидрофильных групп. Они взаимодействуют с полярными молекулами воды («подобное растворяется в подобном»). Благодаря этому ионы моющего средства вместе с загрязнением отрываются от поверхности ткани и переходят в водную среду (рис. 154).

Взгляните на состав любого СМС, указанный на упаковке. В большинстве случаев вы найдёте там алкилбензолсульфонат натрия — основной компонент многих стиральных порошков. Это вещество делает возможной стирку в жёсткой и даже морской воде. В отличие от мыла СМС не образуют нерастворимых хлопьев неприглядного серого цвета, которые забивают поры ткани, делают её грубой, блёклой, воздухо непроницаемой. Да и расход СМС по сравнению с мылом гораздо меньше.

Но ПАВ очень медленно разлагаются и, попадая со сточными водами в водоёмы, оказывают вредное воздействие на живые организмы. Поэтому желательна очистка сточных вод от ПАВ в отстойниках, а в естественных условиях (в водоёмах) их частично «съедают» гетеротрофные бактерии, которые входят в состав активного ила. Можно также проводить биохимическую очистку сточных вод в присутствии ферментов.

Кроме ПАВ в СМС входят и другие компоненты: отбеливатели, смягчители, пенообразователи, ароматические отдушки.

Оптические отбеливатели не воздействуют на структуру ткани, они поглощают ультрафиолетовые лучи, а излучают энергию в синей области видимого спектра. Происходит оптическая компенсация желтоватого оттенка ткани, и изделие приобретает при этом белизну и яркость.

Действующим началом *химических отбеливателей* являются атомарный кислород, атомарный хлор и оксид серы (IV). Эти отбеливатели разрушают посторонние красители, не смывающиеся с ткани, а заодно и дезинфицируют изделие. Из кислородсодержащих отбеливателей наиболее распространены перборат и перкарбонат натрия («Персоль»). Хлорсодержащие и серосодержащие отбеливатели чаще используют как отдельные препараты, известные вам под названиями «Белизна» и «Лилия» соответственно.

Пятна белкового происхождения трудно отстирываются и плохо обесцвечиваются химическими отбеливателями. Для их устранения используют специальные ферменты, которые вводят в качестве добавки в моющие средства. Так как эти ферменты не выдерживают высоких температур, бельё с белковыми загрязнениями стирают в тёплой воде и не кипятят.

Для успешной стирки совсем не обязательна обильная пена. При использовании стиральных машин пена даже нежелательна, а для чистки ковров и мягкой мебели, напротив, необходима. Поэтому в состав различных моющих средств добавляют стабилизаторы или разрушители пены.

В рецептуре СМС компоненты подбирают так, чтобы именно при указанной на упаковке концентрации достигалась максимальная моющая способность композиции в целом. Поэтому стиральный порошок не следует сыпать на глазок.

Если основу моющих средств составляют поверхностно-активные вещества, то у чистящих средств неизменной такой основой является *абразив* (от лат. *abrasio* — соскабливание). В современных чистящих средствах преобладают молотая *пемза* (природный материал — застывшая вулканическая лава), каолин (минерал алюминия), мел (карбонат кальция CaCO_3), наждачный порошок (корунд Al_2O_3 , оксид хрома Cr_2O_3) и др. Выбор абразива обусловлен в основном характером поверхности изделия, а не свойствами загрязнений, поэтому на упаковках чистящих средств указывают тип очищаемых предметов.

Конечно, надо помнить, что никакое чистящее средство не принесёт пользы, если оно попадёт в желудочно-кишечный тракт с пищей и водой после чистки кухонной и столовой посуды. Поэтому необходимо тщательно смывать чистящие вещества.

СРЕДСТВА ДЛЯ БОРЬБЫ С БЫТОВЫМИ НАСЕКОМЫМИ. Как бы вы ни старались содержать в идеальной чистоте посуду, мебель, полы, бельё, как бы плотно ни закрывали двери и окна, вы всё-таки не гарантированы от появления в доме вредных бытовых насекомых. Если они появились, то на помощь приходят *инсектициды* — средства для борьбы с насекомыми. Инсектициды применяют в виде растворов, эмульсий, суспензий, аэрозолей и т. д.

Жилые помещения следует обрабатывать только препаратами, рекомендуемыми для этой цели. Сейчас в продаже их достаточно много. Чаще всего их классифицируют в зависимости от природы насекомого, с которыми препарат борется, — комары, мухи, моль, тараканы, муравьи и т. п.

Большинство из инсектицидов высокотоксичны и опасны для человека. Поэтому недопустимо применять эти препараты часто и в больших количествах, так как действие их сохраняется на сравнительно длительное время. Во время обработки помещения нельзя принимать пищу, пить воду, курить. Окна должны быть открыты, чтобы не создавалась высокая концентрация ядовитых веществ в воздухе. Необходимо убрать все продукты и посуду. Во избежание пожара нельзя распылять содержимое аэрозольных баллончиков при открытом огне. Следует помнить, что все деревянные предметы хорошо впитывают ядохимикаты, а лакированные поверхности могут испортиться. Многие инсектициды обладают аллергенным действием. Слабость, головная боль, тошнота, зуд, сыпь на коже, астматические приступы — признаки аллергической реакции.

Помещение после обработки препаратами надо хорошо проветрить, так как многие инсектициды не имеют запаха. Ну и конечно, надо тщательно вымыть руки тёплой водой с мылом, прополоскать рот.

ХИМИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ГИГИЕНЫ И КОСМЕТИКИ. Слово «гигиена» происходит от греческого *hygienos*, что означает «целебный, приносящий здоровье», а «косметика» — от греческого *kosmetike*, т. е. «искусство украшать себя».

В настоящее время термин «косметика» употребляется прежде всего в связи с уходом за кожей лица и тела; гигиена — это раздел профилактической медицины, изучающий влияние внешней среды на здоровье человека. Косметика и гигиена тесно связаны, так как многие косметические средства (лосьоны, кремы, шампуни, гели для душа и др.) выполняют также и гигиеническую функцию. К важнейшим гигиеническим средствам относятся прежде всего моющие средства, о которых было рассказано выше (мыло, шампунь и т. д.). Рассмотрим некоторые другие средства, которые наиболее часто используют в обиходе.

Поговорим сначала о *средствах по уходу за зубами*. Самое распространённое заболевание зубов — кариес. Сущность его состоит в том, что под влиянием микроорганизмов и вырабатываемых ими кислот (в основном молочной кислоты) происходит разрушение тканей зуба. Самой прочной тканью зуба является эмаль, состав которой близок к минералу гидроксиапатиту $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3$. При разрушении эмали микроорганизмы попадают внутрь зуба и могут вызвать воспаление. Закреплению микроорганизмов на эмали способствует зубной камень — твёрдое пористое отложение на зубах. Его появление связано с тем, что



Рис. 155. Средства личной гигиены — зубная паста, дезодорант

остатки пищи на зубах пропитываются слюной, содержащей ионы Ca^{2+} и HPO_4^{2-} , которые образуют малорастворимую соль. Слюна здорового человека имеет среду, близкую к нейтральной ($\text{pH} = 6,75$). А кислоты, которые вырабатываются в процессе расщепления микроорганизмами остатков пищи, особенно углеводной, снижают pH до $4,5$ — $5,0$. Разрушение эмали в этих условиях ускоряется. Давно замечено, что любители сладкого часто не могут похвастаться хорошим состоянием зубов. Поэтому одним из путей профилактики кариеса является чистка зубов и полоскание ротовой полости после приёма пищи.

Важнейшим средством ухода за зубами является зубная паста (рис. 155). Основные компоненты зубной пасты — это абразивные, связующие, пенообразующие вещества и загустители. Абразивные вещества обеспечивают механическую очистку зубов от налёта и полировку. Чаще всего в качестве абразива при-

меняют химически осаждённый карбонат кальция CaCO_3 , а также фосфаты кальция. Для превращения смеси абразивных порошков в стойкую пасту применяют связующие компоненты. Их получают из морских водорослей, а из искусственных веществ применяют производные целлюлозы. В качестве пенообразователей используют уже знакомые вам поверхностно-активные вещества. Для получения пластичной, выдавливающейся из тюбика массы в пасту добавляют загустители — глицерин, сорбит, полиэтиленгликоль. Они способствуют сохранению в пасте влаги при хранении, повышают температуру замерзания и улучшают вкусовые качества пасты. Для устранения разрушительного действия микробов на растительные составляющие в состав паст вводят антисептики.

Борьба с кариесом осуществляется не только предупреждением образования зубного налёта. Второй путь — это укрепление минеральной ткани зуба введением в пасты соединений фтора (фторида натрия NaF , фторида олова (II) SnF_2 и др.). Существует несколько точек зрения по поводу влияния фторидных ионов на укрепление эмали зуба. Ионы F^- переводят гидрок시아патит $\text{Ca}_5\text{OH}(\text{PO}_4)_3$ в менее растворимый в кислотах фторапатит $\text{Ca}_5\text{F}(\text{PO}_4)_3$. Возможно также образование в результате обменной реакции в пасте фторида кальция CaF_2 , который адсорбируется на эмали и предохраняет её от воздействия кислот. Известно также, что фторидные соединения способствуют подавлению жизнедеятельности бактерий, вызывающих образование органиче-

ских кислот в полости рта. В настоящее время в антикариесных пастах используют добавки ферментов, а иногда вводят антибиотики.

Приятный вкус и запах пасты создают различные вкусовые компоненты и отдушки. В качестве последних часто используют ментол, мятные масла, гвоздичное масло, эвкалиптол и др. Сладкий вкус создают синтетические подсластители — сахарин или аспартам.

В настоящее время в продаже появились безабразивные гелеобразные прозрачные чистящие средства для зубов. В них используют гели оксида кремния SiO_2 , а также полимерные материалы, которые легко окрашиваются в разные цвета, имеют красивый внешний вид, однако очищающая способность у них ниже, чем у абразивных паст.

Конечно, вы знаете, что *дезодоранты* — это средства, устраняющие неприятный запах пота, который выделяется потовыми железами и на 98—99% состоит из воды. С потом из организма выводятся продукты метаболизма: мочевины, мочевая кислота, аммиак, некоторые аминокислоты, жирные кислоты, холестерин, некоторые гормоны и т. д.; из минеральных компонентов — катионы натрия, кальция, магния, меди, марганца, железа, анионы хлора и иода. Неприятный запах связан с бактериальным расщеплением составляющих пота или с их окислением кислородом воздуха.

Дезодоранты бывают двух типов: одни тормозят разложение выводимых с потом продуктов метаболизма (делая неактивными микроорганизмы) или предотвращают их окисление, другие частично подавляют выделение пота. Такими свойствами обладают соли алюминия, цинка, циркония, хрома, железа, а также формальдегид и этиловый спирт. Эти вещества взаимодействуют с компонентами пота, образуя нерастворимые соединения, которые закупоривают каналы потовых желёз и тем самым уменьшают потовыделение. В оба типа дезодорантов входят отдушки.

Дезодоранты выпускают в твёрдом виде, шариковые и в аэрозольной упаковке. В аэрозольных баллонах используют сжиженные газы (пропелленты), температура кипения которых очень низка. Они легко переходят в газовую фазу и не только выталкивают основу (дезодорант) из баллона, но, расширяясь, распыляют её на мелкие капельки. Долгое время эту роль выполняли только фторхлоруглероды (фреоны) — CF_2Cl_2 , CFCl_3 , $\text{CF}_2\text{Cl}-\text{CF}_2\text{Cl}$. Все они кипят при температуре ниже -30°C . В настоящее время принято международное соглашение о сокращении производства аэрозольных баллонов, содержащих фреоны, поскольку установлено, что они разрушают озоновый слой Земли.

Говоря о *косметических средствах* (рис. 156), надо вспомнить, что люди пользовались ими с незапамятных времён. Письменные источники и раскопки древних поселений свидетельствуют о том, что на ранней стадии развития общества к раскрашиванию тела были неравнодушны и женщины, и мужчины. У мужчин это особенно проявля-



Рис. 156. Косметические средства — помада, лак для ногтей, крем, румяна, пудра

лось в любви к татуировкам, а женщины подкрашивали веки, брови, губы, щёки. Естественно, что в далёком прошлом в качестве косметических средств использовали лишь природные вещества. Например, веки подкрашивали в голубой цвет тончайшей пылью из толчёной бирюзы, а брови красили мягкими природными минералами, в том числе сурьмяным блеском Sb_2S_3 .

С развитием химии помимо природных веществ стали использовать и синтетические. Например, в качестве пигмента для губных помад применяют органическое синтетическое соединение никеля. Перламутровый эффект создают соли висмута или слюда, содержащая около 40% оксида титана (IV) TiO_2 . В создании гримов применяют также оксид цинка ZnO , в медицине его используют в присыпках и мазях.

В качестве красителей для волос используют разбавленные водные растворы хорошо растворимых солей свинца, серебра, меди, висмута. Ими предварительно пропитывают волосы. Затем с помощью так называемого проявителя ионы металлов восстанавливаются до простых веществ. Нашатырный спирт, входящий в состав красителей нейтрализует образующуюся при этом кислоту. Под действием восстановленной меди волосы приобретают красноватый отлив, если были взяты соли серебра — серый оттенок, при наличии солей железа — синевато-лиловый цвет. Осветляют волосы с помощью 3%-го раствора пероксида водорода, который разлагается с образованием атомарного кислорода. Окислительное действие последнего так велико, что он разрушает пигменты волос. Но при большой концентрации и длительном воздействии могут начать разрушаться и сами волосы, поэтому надо проявлять осторожность. На практике пероксид водорода применяют в комплексе с мочевиной, такое вещество называется гидроперитом.

С помощью «химии» можно не только изменить цвет волос, но и придать им определённую форму. Известно, что волосы сохраняют свои упругие свойства из-за наличия в их структуре многочисленных дисульфидных «мостиков» (как в вулканизированном каучуке). Если их временно ослабить, а затем придать волосам необходимую форму и закрепить её, получим новую причёску. При химической завивке роль разрушителя «мостиков» отводится тиогликолевой кислоте HSC_2H_4COOH или её более устойчивым солям. Последующая обработка уложенных волос закрепителями восстанавливает «мостики», фиксируя новую форму волос.

Косметическим средством для ногтей являются лаки. Основа их — это раствор нитроцеллюлозы в органических растворителях. Нитроцеллюлозу получают нитрованием целлюлозы (хлопковой или древес-

ной) смесью азотной и серной кислот. В качестве растворителей используют амиловый эфир уксусной кислоты, ацетон, различные спирты, а также их смеси. В лак кроме красителя добавляют пластификаторы (например, касторовое масло), которые препятствуют обезжириванию ногтей и предотвращают их ломкость.

Одним из важнейших косметических средств для лица являются пудры. Косметические пудры — многокомпонентные смеси. В них входят тальк, каолин, соли цинка и магния, оксиды цинка и титана, рисовый крахмал, а также органические и неорганические пигменты, в частности Fe_2O_3 . Пудра — великолепный адсорбент влаги (в основном за счёт каолина). Тонкого слоя её вполне хватает, чтобы удалить выделения потовых желёз, работающих в обычном режиме. Но в жаркую погоду пудра закупоривает все поры кожи и причиняет вред. За счёт талька пудра становится сыпучей и имеет скользкий эффект. Каолин и оксиды маскируют дефекты кожи. Кроме того, оксид цинка обладает антисептическими свойствами. Крахмал придаёт коже бархатистость, а благодаря солям цинка и магния пудра хорошо удерживается на коже и делает её гладкой. Пудра защищает и от атмосферных загрязнений. Вот почему умело, без излишеств нанесённая на лицо, она не только улучшает цвет и маскирует мелкие дефекты кожи, но и защищает её.

ПИЩЕВЫЕ ДОБАВКИ. Эти вещества способствуют сохранности продукта (консерванты), придают ему аромат (ароматизаторы), нужную окраску (красители) и т. д. Некоторые добавки делают из природных продуктов — овощей и фруктов, сахара, уксуса, спирта. Но многие из них синтетические и являются результатом работы химиков. На продуктах питания их маркируют буквой «Е» и обозначают трёхзначной цифрой.

Нужно знать, какую конкретную информацию несёт в себе маркировка-индекс:

E100 — E182 — красители;

E200 — E299 — консерванты; такие вещества, как соль, сахар, уксус, в эту группу маркировок-индексов не входят, информацию об этих консервантах записывают на этикетках без буквенно-цифровой индексации, отдельно;

E300 — E399 — вещества, замедляющие процессы брожения и окисления в продуктах питания (например, прогоркание сливочного масла);

E400 — E409 — стабилизаторы, обеспечивающие продуктам питания длительное сохранение консистенции (например, мармелада, желе, пастилы, йогуртов, соусов и т. п.);

E500 — E599 — эмульгаторы, позволяющие сохранять равномерность распределения дисперсной фазы в среде, поддерживать, напри-

мер, такие эмульсии, как нектары, растительные масла, майонезы и другие, в однородной системе, препятствовать образованию осадков в них;

E600 — E699 — ароматизаторы, т. е. соединения, усиливающие или придающие вкус пищевым продуктам (напиткам, кремам, конфетам, сухим сокам и др.);

E900 — E999 — антифламинги, не позволяющие слёживаться муке, сахарному песку, соли, соде, лимонной кислоте, разрыхлителям теста, веществам, которые препятствуют образованию пены в напитках.

Каждая страна мира имеет свои стандарты по содержанию пищевых добавок в продуктах питания, особенно таких, которые могут нанести вред здоровью человека. Многие нормы применения пищевых добавок в России ниже их аналогов в зарубежных странах. Вы должны знать, что отдельные пищевые добавки в импортных продуктах питания могут вызвать желудочно-кишечные расстройства, аллергию, некоторые являются канцерогенами, т. е. далеко не безопасны для здоровья.

Такие авторитетные органы, как Госсанэпиднадзор и Общество защиты прав потребителей, не рекомендуют употреблять продукты питания, содержащие добавки со следующими маркировками:

E131, E141, E215 — E218, E230 — E232, E239 — они являются аллергенами;

E121, E123 — они вызывают желудочно-кишечные расстройства, а в больших дозах и пищевые отравления;

E211, E240, E330, E442 — они содержат канцерогены, т. е. могут провоцировать образование опухолей.

Маркировка на упаковках с пищевыми продуктами столь же важна для человека, как и символика на этикетках одежды с целью бережного и правильного ухода за ней.

Итак, человек встречается с химией на каждом шагу. Наша жизнь, здоровье, настроение тесно связаны с многочисленными химическими веществами и процессами вокруг нас и в нас самих. С развитием науки мы получаем новые материалы, препараты, вещества, которые используются в самых разных сферах жизнедеятельности человека. Химия даёт человеку огромные возможности, но при этом требует грамотного, ответственного их использования, понимания сущности химических явлений и процессов.

Теперь вы знаете

- ▶ достижения современной науки: разумный подход
- ▶ как используются моющие и чистящие средства
- ▶ как используются средства для борьбы с бытовыми насекомыми

- ▶ как используются химические средства гигиены и косметики
- ▶ как используются пищевые добавки

Теперь вы можете

- ▶ объяснить, что такое детергенты и каков процесс взаимодействия молекул моющего вещества с загрязняющим веществом, в результате которого ткань становится чистой, выстиранной
- ▶ сравнить оптические и химические отбеливатели и сказать, чем они отличаются друг от друга
- ▶ описать, в чём сущность кариеса и как его избежать
- ▶ перечислить косметические средства, изготовленные с применением синтетических веществ
- ▶ назвать маркировки добавок, содержащихся в продуктах питания, не рекомендуемых Роспотребнадзором для употребления

Выполните задания

1. Приведите доказательства, что без химии немислим быт современного человека.
2. Расскажите, что такое СМС, ПАВ, какие преимущества и недостатки они имеют по сравнению с мылами.
3. Объясните, что составляет основу чистящих средств и какие ещё компоненты входят в них.
4. Ответьте, почему пятна белкового происхождения (молока, крови и др.) трудно отстирываются и почему бельё с такими пятнами нельзя кипятить.
5. Перечислите меры предосторожности, необходимые при применении инсектицидов.
6. Охарактеризуйте основные компоненты, входящие в состав зубной пасты.
7. Опишите принцип действия дезодорантов двух типов, на свойствах каких химических веществ эти действия основаны и причину, по которой сокращается производство дезодорантов в аэрозольных упаковках.
8. Назовите синтетические пищевые добавки, полученные в результате работы химиков, имеющие в маркировке букву «Е» и трёхзначный цифровой код.

Темы для рефератов

1. Химия и красота. 2. Химия и гигиена. 3. Автокосметика. 4. История мыла и шампуня. 5. Косметика в Древнем Риме. 6. Гигиена в средневековой Европе. 7. Чёрный список пищевых добавок.

§ 37. Синергетика

1. Перечислите миры, в которых мы живём, приведите примеры объектов каждого мира.
2. Вспомните, что такое самосборка и какую роль она играет в живой природе и нанотехнологиях.
3. Дайте определение понятия «энтропия».

В течение почти двух лет на уроках естествознания вы осваивали наиболее общие законы природы. И наверняка задавались вопросом: для чего? Что нам даёт знание основных закономерностей протекания физических, химических, биологических процессов, их сочетание в реальных природных явлениях, в окружающей действительности? Очевидно, совместно с учителем вам удалось найти ответы на эти вопросы.

Знание законов естествознания нам необходимо для прогнозирования результатов того или иного явления, использования этих законов для получения практической пользы или выгоды. Например, понимание закономерностей протекания окислительно-восстановительных реакций и овладение законами электродинамики позволило создать целый спектр химических источников тока и несметное множество устройств и механизмов, работающих на аккумуляторах или батареях.

Предсказывать конечный результат процессов в несложных системах нам помогает знание того факта, что многие эти процессы протекают самопроизвольно в направлении увеличения *энтропии* (наибольшего беспорядка, хаоса), в направлении выравнивания параметров состояния отдельных частей системы, что в конечном счёте приводит неравновесную систему в положение равновесия. Проиллюстрируем сказанное несколькими примерами.

Пример первый. В закрытом помещении разбился флакон с духами. Давайте спрогнозируем последствия. Легколетучие жидкости, образующие композицию духов, достаточно быстро испарятся. Вначале концентрация их паров над местом разлива будет больше, чем в отдалённых углах помещения. С течением времени под действием градиента (разности) концентрации веществ в воздухе молекулы компонентов духов равномерно распределятся по всему объёму комнаты, энтропия достигнет максимального значения, система придёт в состояние равновесия. Как долго продлится это равновесие? Ответ опять же не сложен: бесконечно долго, до тех пор, пока система не перестанет быть

закрытой и испытает воздействие извне, например пока кто-то не откроет дверь или форточку.

Пример второй. Раскалённую сковороду поставили с плиты на стол. Нетрудно предположить, что произойдёт в течение ближайших часа-двух. Самопроизвольно металл начнёт остывать, его температура уменьшаться, а окружающий воздух будет нагреваться. Процесс идёт в направлении выравнивания ключевого параметра — температуры — до тех пор, пока значение этого параметра для сковороды и окружающего воздуха не станет одинаковым: система придёт в состояние равновесия.

Пример третий, более сложный. Вы посадили во дворе саженец берёзы. С большой долей вероятности вы можете предсказать его дальнейшую судьбу. Поначалу деревце расти будет медленно — по 20—25 см в год. Через 3—4 года его коричневый ствол покроется нарядной белой корой — берёстой. Каждую весну, примерно в апреле, на ветвях вашей берёзки будут появляться пушистые серёжки — мужские и женские цветки. А каждую осень яркая зелень листвы будет сменяться прекрасным золотистым кружевом, облетающим с наступлением холодов. Через десять лет дерево обретёт силу и мощь, начнёт быстро расти и развиваться. К закату своей жизни, лет через 120, достигнет высоты около 35 м, ствол увеличится в диаметре до 45—50 см, а нижняя часть ствола станет почти чёрной.

Неужели в природе, в окружающей нас действительности всё так предсказуемо и скучно, остаётся только ждать «выравнивания параметров» и «достижения бесконечно длящегося равновесия»?

Оглянитесь вокруг, и вы поймёте, что это не так. На самом деле реальная жизнь удивительна и непредсказуема! К счастью, озоновый слой планеты, вопреки «желаниям» энтропии, не растворяется во всей массе атмосферы, а потому продолжает выполнять спасительную роль защитного экрана от ультрафиолетового излучения Солнца. За миллиарды лет температура на Земле, не говоря уже о всей Вселенной, не выравнилась: в январе жители Северного полушария по-прежнему кутаются в шубы, а жители Южного спасаются от зноя в прохладных водах морей и океанов. Берёзовая роща может не одно столетие радовать глаз, а может исчезнуть с лица земли за неделю под визг бензопил и рёв бульдозеров.

Почему же не удаётся точно предопределить события окружающей действительности, явления природы? Почему одни виды живых организмов вымирают и попадают в Красную книгу, а с увеличением численности других человечество борется всеми доступными средствами? Как научиться предсказывать стихийные бедствия до их наступления? Какие законы управляют развитием человеческого общества?

Дело в том, что большинство изученных нами естественно-научных законов применимы лишь для сравнительно несложных систем, часто закрытых (т. е. таких, которые не могут обмениваться с окружающей средой веществом или энергией), в которых протекают простые процессы и явления, условно называемые *линейными*.

Реальные объекты природы, а тем более человеческое общество — несравненно более сложные системы. Их состояние не просто далеко от состояния равновесия, а может самопроизвольно от такого состояния удаляться. Здесь могут протекать процессы с уменьшением энтропии, существенную роль играют влияния извне, случайности (флуктуации).

Означает ли это, что познание окружающего мира в принципе невозможно, что не существует объективных законов развития и попытки создать единую естественно-научную картину мира обречены на провал?

Лишь в XX в. учёные дали ответ на этот непростой вопрос. В 80-х г. прошлого века возникла наука, которая получила название **синергетика** (в переводе с греч. «совместная деятельность»).

***Синергетика** — междисциплинарное направление науки, изучающее общие закономерности явлений и процессов в сложных неравновесных системах (физических, химических, биологических, экологических, социальных и др.) на основе присущих им принципов самоорганизации.*

Как следует из определения, синергетика носит интегрирующий характер, объединяя общими законами разные науки: физику, химию, биологию, психологию, социальные науки, астрономию, философию и т. д. Синергетика впервые сформулировала универсальные законы эволюции, справедливые как для неодушевлённого, так и для живого мира и социума.

Автор термина «синергетика» — **Герман Хаккен** — исследовал механизмы процессов, происходящих в лазерах, и обнаружил, что частицы, составляющие активную среду такой его части, как резонатор, под воздействием внешнего светового поля начинают колебаться с ним в одной фазе. В результате устанавливается согласованное взаимодействие, приводящее, в конце концов, к коллективному поведению (т. е. самоорганизации).

В приведённом выше определении встретилось ещё одно незнакомое вам слово — *самоорганизация*. Что же понимается под самоорганизацией сложных систем?

Казалось бы, те многочисленные нелинейные процессы, тот хаос, который царит в неравновесной системе, должны рано или поздно при-

вести к её распаду. Однако этого не происходит. Парадоксально, но хаос рождает прямую противоположность себе — порядок.

***Самоорганизация** — это процесс упорядочения элементов сложной неравновесной системы за счёт внутренних факторов без внешнего воздействия.*

Не очень корректной, но показательной моделью самоорганизации может служить обыкновенный муравейник. На первый взгляд движение насекомых сумбурно и беспорядочно, но каждый муравей выполняет строго определённую функцию, и хаос рождает самоорганизующуюся систему.

Одним из основоположников синергетики по праву считается бельгийский физик и химик, лауреат Нобелевской премии (1977), выходец из России Илья Романович Пригожин (1917—2003). С детства он хорошо знал французский язык, учился музыке, увлекался биологией. Ещё в юности Пригожин понял, что биологию нельзя понять без химии, а химию без физики. В 1940 г. после окончания Брюссельского университета стал заниматься научными исследованиями в области неустойчивых процессов. Зная, что неравновесие всегда переходит в равновесие, в своих изысканиях Пригожин одним из первых доказал, что из хаоса в природе самопроизвольно может возникать порядок.

Синергетика исходит из того, что, в отличие от закрытых термодинамических систем, которые стремятся к состоянию равновесия и усреднению параметров состояния, сложные неравновесные многоэлементные и многофакторные системы (живые организмы, экосистемы, общественные группы и др.) за счёт притока энергии извне, нелинейности внутренних процессов, случайных событий и других факторов могут развиваться в неравновесном направлении, иметь несколько устойчивых состояний, способны к усложнению и самоорганизации. Самоорганизация и является механизмом происходящей в природе и обществе эволюции: от простого к более сложному, более совершенному.

Для любых сложных систем, будь то неодушевлённые (например, геологические), одушевлённые (например, популяция живых организмов) или социальные (например, государство), справедливы наиболее общие **принципы синергетики**. Рассмотрим некоторые из них.

1. *Природа иерархически структурирована в несколько видов открытых нелинейных систем разных уровней организации.* Изу-



Илья Романович
Пригожин

ченные нами ранее биогеоценозы (вспомните, что это такое) являются ярким примером таких систем, относительно стабильных в небольшом промежутке времени и эволюционирующих в течение длительных временных отрезков.

2. В сильно неравновесных состояниях системы начинают воспринимать те факторы воздействия извне, которые они бы не восприняли в более равновесном состоянии. Вам известно, что в первом десятилетии XXI в. по странам Ближнего Востока и Северной Африки прокатилась волна так называемых «цветных революций». В сложный для этих государств период падения экономического потенциала, обострения межнациональных и межрелигиозных конфликтов, появления мощных оппозиционных сил (сильно неравновесное состояние) достаточно было небольшого внешнего толчка (например, вмешательства иностранного государства, экономические санкции), чтобы ситуация обострилась до вооружённого противостояния, свержения действующей власти, радикальных преобразований в стране. В стабильных условиях существования государства такие внешние воздействия, напротив, часто сплачивают население и укрепляют национальное единство.

3. В состояниях, далёких от равновесия, начинают действовать бифуркационные механизмы. Что это такое? Проиллюстрируем это понятие на простой модели.

Представьте себе расположенную на столе в виде чашки полусферу, например разрезанный напополам резиновый мяч. По стенке полусферы пустим металлический шарик (рис. 157, а). Нетрудно предсказать, что шарик будет совершать колебательные движения по стенке полусферы через нижнюю её точку до тех пор, пока не остановится в ней. В такой системе действуют все известные вам законы физики и термодинамики. Даже если вы попытаетесь оказать на систему небольшое внешнее воздействие (например, качнёте полусферу или подуете на шарик), конечный результат от этого не изменится.

Теперь перевернём полусферу и установим шарик на её верхнюю точку. Система находится в крайне неустойчивом состоянии. В синергетике его называют **точкой бифуркации** (от лат. *bifurcus* — раздвоенный), т. е. состоянием неопределённости, после которого возможны различные варианты дальнейшего развития системы вплоть до относительно стабильных состояний — **аттракторов** (от англ. *to attract* —

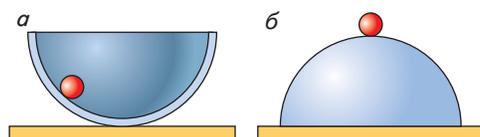


Рис. 157. Система стремится к состоянию равновесия (а); система находится в состоянии неопределённости (б)

привлекать, притягивать). Стоит только произвести на систему небольшое внешнее воздействие — стукнуть по столу, задеть полусферу, помахнуть веером, — и шарик скатится в одном из множества возможных направлений, часто непредсказуемых



Рис. 158. В. М. Васнецов.
Витязь на распутье. 1877

(рис. 157, б). В своеобразной точке бифуркации находится и знаменитый васнецовский «Витязь на распутье» (рис. 158).

4. При переходе от неупорядоченного состояния к состоянию порядка все развивающиеся системы ведут себя одинаково. Этот очень важный принцип позволяет не только качественно описывать развитие сложных систем, но и использовать обобщённый математический аппарат синергетики. Понятно, что без количественной составляющей синергетика не смогла бы развиваться в полноценную науку. Особенно ценны количественные оценки в одном из направлений синергетики — теории катастроф.

Конечно, математический аппарат синергетики, основанный на принципах теоретической физики, нелинейной и неравновесной термодинамики, математической статистики, очень сложен, и мы не будем вас с ним знакомить. Вместе с тем вы получили первое представление о синергетике — современной науке о самоорганизации физических, биологических и социальных систем, науке об универсальных законах эволюции Природы. Теперь, когда вы услышите непривычные термины «бифуркация» или «аттрактор», вы не будете поспешно менять тему разговора, а сможете высказать своё достаточно компетентное мнение.

Однако специалисты предупреждают, что интенсивное внедрение модных подходов синергетики в науки, особенно в общественные, чревато появлением необоснованных утверждений, выдаваемых за научные, и отрицанием исторически наработанных положений, понятий и методов конкретных наук. Такое формальное и поверхностное «обращение к синергетике», по мнению одного из видных специалистов в этой области, Г. Н. Дульнева, грозит стать массовым и породить сообщество взаимно довольных, друг друга поддерживающих и никем не критикуемых деятелей, занимающихся схоластической псевдонаукой.

В заключение отметим, что единство мира требует и единства науки. Синергетика объединяет различные ветви не только естествознания, но и гуманитарной сферы. В современном естествознании происходят интенсивные процессы гуманизации, а в гуманитарных науках всё более принимается логика естественных наук.

В процесс самоорганизации обычно вовлечено множество объектов, и протекающие в системе процессы зависят от их совокупного, совместного действия.

Еще раз напомним, что окружающий нас мир можно рассматривать на нескольких структурных уровнях:

— на *мегауровне*, или уровне *мегамира*, — мир галактик, звёзд и других небесных тел;

— на *макроуровне*, или уровне *макромира*, — мир окружающих нас объектов и предметов;

— на *микроуровне*, или уровне *микромира*, — мир молекул, атомов и элементарных частиц.

Распределение и структуру материи на мегауровне изучает астрофизика, на макроуровне — физика твёрдого тела, физика жидкостей и газов, на микроуровне — атомная, ядерная физика, физика элементарных частиц. Следовательно, изучение материального мира начинается с рассмотрения физической формы движения материи, которая эволюционирует в химическую и далее в биологическую и социальную. Единство этих форм и рассматривает синергетика — междисциплинарное направление научных исследований, задачей которого является изучение природных и социальных явлений на основе самоорганизации систем.

При внимательном рассмотрении окружающего нас мира мы часто задаём себе вопросы, на которые не можем чётко и мотивированно ответить. Например: почему фундаментальные законы физики не могут предсказать поведение биологических объектов? Почему целое может обладать свойствами, которыми не обладает ни одна из его частей? Почему существующие в природе системы так сильно отличаются от тех, которые созданы руками человека? Совсем недавно эти вопросы можно было отнести лишь к области философии. Сейчас они встают при решении конкретных задач в области физики, химии, биологии и др. На эти и многие другие вопросы пытается ответить новая наука — синергетика.



Завершая курс естествознания, последний параграф учебника мы посвятим красоте — красоте окружающего нас мира и воплощению её в произведениях искусства, многовековым поискам гармонии художниками, зодчими, ваятелями. И найдём подтверждения и доказательства, что наука и искусство всегда и во всём тесно связаны, обогащая и дополняя друг друга.

Теперь вы знаете

- ▶ что такое синергетика и самоорганизация сложной системы
- ▶ принципы, которым подчиняется это интегрированное научное направление
- ▶ какую роль играет синергетика в изучении природных и социальных явлений

Теперь вы можете

- ▶ описать уровни организации материального мира и разделы физики, которые их изучают
- ▶ сформулировать, что такое синергетика и самоорганизация сложной системы
- ▶ раскрыть значение синергетики для познания материального мира и социального развития общества

Выполните задания

1. Покажите, как синергетика связана с естественными и гуманитарными науками.
2. Установите основное отличие процессов, протекающих в простейших термодинамических системах, от процессов, происходящих в сложных неравновесных системах. Что такое самоорганизация сложной системы?
3. Назовите и проиллюстрируйте примерами несколько основных принципов синергетики.
4. Смесь азота и водорода ввели в соприкосновение с нагретым катализатором. Напишите уравнения возможных химических реакций, зная, что синтез аммиака из азота и водорода является обратимым процессом. Спрогнозируйте поведение системы с течением времени.
5. В некоем государстве в результате выборов к власти пришла оппозиция. Можно ли рассматривать сложившуюся ситуацию как точку бифуркации? Спрогнозируйте возможные пути развития событий в этой стране. Опишите наиболее реальные аттракторы.
6. Вспомните отрывок из поэмы А. С. Пушкина «Руслан и Людмила».
Соперники одной дорогой
Всё вместе едут целый день.
Днепра стал тёмн брег отлогий;
С востока льётся ночи тень;
Туманы над Днепром глубоким;
Пора коням их отдохнуть.
Вот под горой путём широким
Широкий пересёкся путь.
«Разъедемся, пора! — сказали, —

Безвестной вверимся судьбе». И каждый конь, не чуя стали, По воле путь избрал себе.

Назовите имена этих «соперников». Куда и зачем они скачут? Дайте характеристику ситуации, описанной в отрывке, с позиции синергетики.

§ 38. Естествознание и искусство

1. Объясните, что имел в виду А. С. Пушкин, вложив в уста Сальери слова: «Поверил я алгеброй гармонию».
2. Проанализируйте выражение: «Красота спасёт мир» — с двух точек зрения: толкования его Ф. М. Достоевским и в вашем собственном понимании.
3. Докажите, что творения зодчих — это синтез искусства и наук (математики, физики, а иногда и астрономии, и географии), приведите примеры.
4. Сформулируйте постулаты Н. Бора.

БОЖЕСТВЕННАЯ ПРОПОРЦИЯ И ПОНЯТИЕ «ЗОЛОТОЕ СЕЧЕНИЕ». Человеку свойственно искать гармонию во всём — в окружающем его интерьере, предметах быта, украшениях. Но что может быть более гармоничным, чем великая и неповторимая природа? Наблюдая окружающий нас мир, мы восхищаемся совершенством форм, многообразием расцветок, уникальным сочетанием свойств всего того, что рождено гениальным создателем — Природой!

Особенно тонко чувствуют прекрасное, создают величайшие шедевры, переживающие века и поколения, люди искусства — художники, архитекторы, скульпторы, музыканты, писатели. Своё вдохновение большинство из них черпали и продолжают находить в окружающей нас природе.

Уловить тонкую материю гармонии окружающего мира — значит научиться создавать бессмертные произведения искусства. Вот почему гениальных художников можно назвать и талантливыми естествоиспытателями.

Оказывается, что один из величайших секретов природы, универсальный показатель красоты и гармонии, известен человеку с древнейших времён. Это так называемая божественная пропорция, в основе которой лежат симметрия и **золотое сечение**. Такое уникальное сочетание способствует наилучшему зрительному восприятию и ощущению красоты и гармонии.

Немецкому астроному **И. Кеплеру** (1571—1630) принадлежит известное изречение: «Геометрия владеет двумя сокровищами: одно из них — теорема Пифагора, другое — деление отрезка в крайнем и среднем отношении. Первое можно назвать мерой золота, второе же больше напоминает драгоценный камень». **Пифагор** (ок. 570—496 до н. э.), прожив в Египте 22 года и обучаясь там у жрецов, начал постигать законы гармонии и красоты: к примеру, знаменитая пирамида Хеопса была построена по принципу золотого треугольника (мы ещё поговорим о нём чуть позже). Пропорции храмов, барельефов, предметов быта и украшений из гробниц фараонов также свидетельствуют о том, что египтяне знали секрет золотого сечения.

Термин «золотое сечение» ввёл в обиход в 1835 г. немецкий математик **М. Ом** (1792—1872). Так что же такое золотое сечение? При чём здесь деление отрезка и пирамида Хеопса?

***Золотое сечение (золотая пропорция)** — это такое деление отрезка на две неравные части, при котором длины большей и меньшей частей относятся друг к другу так же, как длина большей части относится к длине всего отрезка; это число выражается бесконечной иррациональной дробью 0,6180339887... .*

$$\frac{|AC|}{|BC|} = \frac{|AC|}{|AB|} = 0,618\dots$$

Удивительно, но величина, обратная этой дроби, отличается от неё ровно на единицу (в математике её часто обозначают греческой буквой ϕ):

$$\phi = \frac{1}{0,618\dots} = 1,618\dots$$

ЗОЛОТОЕ СЕЧЕНИЕ В ПРОИЗВЕДЕНИЯХ ИСКУССТВА И АРХИТЕКТУРЫ.

Именно с золотым сечением связано много геометрических загадок. Например, прямоугольник с таким соотношением сторон стали называть золотым прямоугольником: если от него последовательно и до бесконечности отрезать квадрат, то всегда останется золотой прямоугольник. Существует и так называемый золотой треугольник (равнобедренный), у которого отношение длины боковой стороны к длине основания равняется 1,618. В совершенной пентаграмме — пятиконечной звезде — каждая из составляющих её пяти линий делит другую в золотой пропорции, а концы звезды образуют золотые треугольники (рис. 159).

Ну и что же здесь красивого и гармоничного?

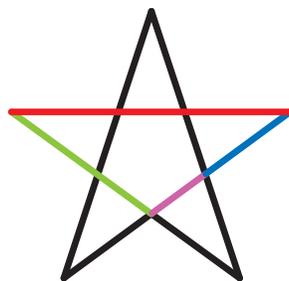


Рис. 159. Звезда — совершенная пентаграмма

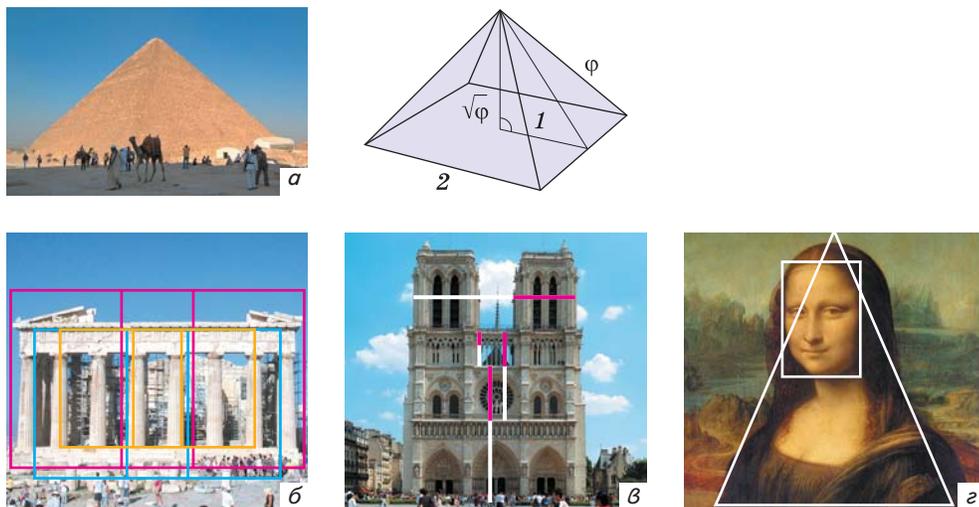


Рис. 160. Золотое сечение в искусстве и архитектуре: *а* — пирамида Хеопса; *б* — Парфенон; *в* — собор Парижской Богоматери; *г* — «Джоконда» Леонардо да Винчи

Оказывается, божественные пропорции лежат в основе многих великих творений человечества — произведениях архитектуры, живописи, скульптуры. О пирамиде Хеопса мы уже говорили, можно ещё назвать древнегреческий храм Парфенон в Афинах, собор Парижской Богоматери в Париже, «Джоконду» Леонардо да Винчи (рис. 160), причём для композиционного построения картины Леонардо использовал и золотой треугольник, и золотой прямоугольник. При раскопках археологи обнаружили циркули, которыми пользовались архитекторы и скульпторы античного мира. Оказалось, что в них также заложены пропорции золотого сечения.

В Средние века многое, что почиталось в античном мире, в том числе и золотое сечение, было предано забвению. Интерес к этому удивительному геометрическому феномену возобновился в эпоху Возрождения. В 1509 г. в Венеции была издана книга итальянского математика **Л. Пачоли** (1445—1517) «Божественная пропорция». Есть предположение, что роскошные иллюстрации к ней сделал Леонардо да Винчи. Книга была своеобразным гимном золотому сечению!

А. Дюрер (1471—1528), немецкий художник и теоретик искусства, разрабатывая теорию пропорций человеческого тела, также отводил важное место золотому сечению (рис. 161). Тело человека делится в золотых пропорциях линией пояса, линией, проведённой через кончики средних пальцев опущенных рук, нижней частью лица — ртом и т. д. Пропорции золотого сечения были разработаны и для соотношения длины плеча, предплечья и кисти, кисти и пальцев и т. д.

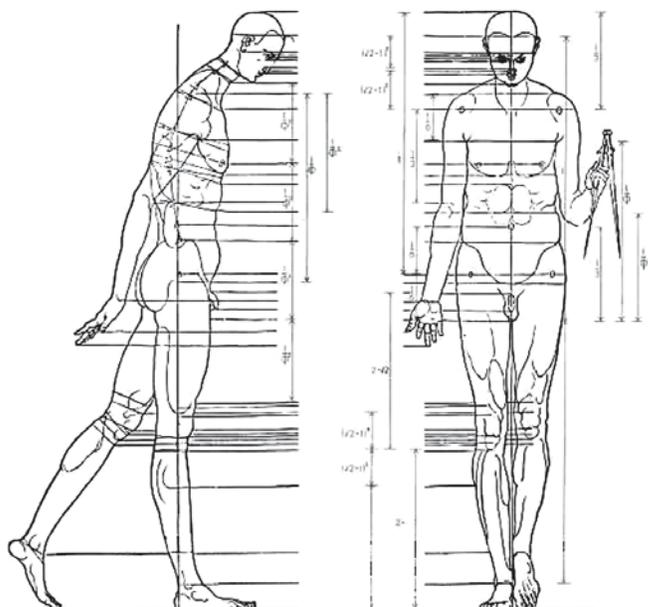


Рис. 161. Пропорции человеческого тела по А. Дюреру

ЗОЛОТЫЕ ПРОПОРЦИИ В ПРИРОДЕ. Кеплер первым обратил внимание на значение золотой пропорции для ботаники. Естествоиспытатели всё чаще и чаще находили в природных объектах воплощение этого самого гармоничного соотношения (рис. 162).

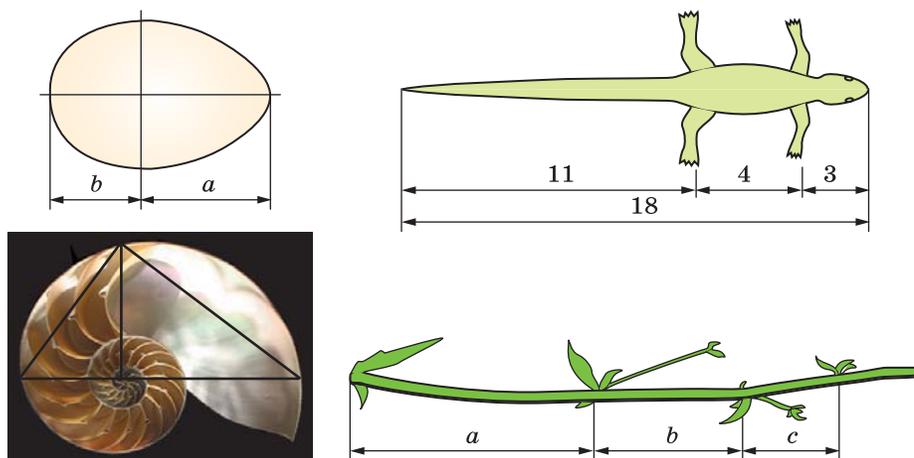


Рис. 162. Золотые пропорции в природе (яйцо, ящерица, спираль раковины, ветка цикория)

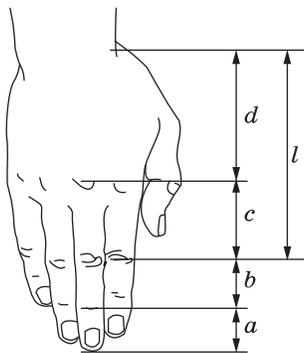


Рис. 163. Пропорции кисти руки

В середине XIX в. немецкий исследователь **А. Цейзинг** (1810—1876) объявил золотое сечение универсальным для всех явлений природы и произведений искусства. Он проверял свою теорию на греческих статуях, вазах, архитектурных сооружениях, растениях, животных, птичьих яйцах, музыкальных тонах, стихотворных размерах. Однако к утверждениям о повсеместности золотого сечения в природе и искусстве следует относиться с осторожностью. Часто это может оказаться простым совпадением или результатом подгонки.

Лабораторный опыт

Измерьте параметры кисти своей руки, как показано на рисунке 163. Вычислите отношения величин $a : b$; $b : c$; $c : d$; $d : e$. Какое из отношений наиболее близко к золотому сечению? Сравните результаты ваших измерений с результатами одноклассников.

ЗОЛОТОЕ СЕЧЕНИЕ В КИНЕМАТОГРАФЕ, ПОЭЗИИ, МУЗЫКЕ. Полагают, что С. Эйзенштейн также построил свой фильм «Броненосец “Потёмкин”» по правилам золотого сечения. Он разбил ленту на пять равных по времени частей. В первых трёх действие происходит на корабле, в двух последующих эпизодах показано восстание. Этот переход точно совпадает с точкой золотого сечения.

Другим примером использования золотого сечения в кино, фотографии, живописи является расположение главных объектов изображения в особых точках — зрительных центрах, которые находятся на расстоянии $\frac{3}{8}$ и $\frac{5}{8}$ от рамки кадра или полотна.

Исследование золотого сечения в музыке впервые провёл музыковед, пианист и композитор **Э. К. Розенов** (1861—1935). В 1925 г. он изложил результаты этого исследования в статье «Закон золотого сечения в поэзии и музыке». Розенов показал, что многие музыкальные произведения эпохи барокко и классицизма, в том числе композиции Баха, Моцарта, Бетховена, построены на основе божественной пропорции.

РЯД ФИБОНАЧЧИ, СПИРАЛЬ АРХИМЕДА И ЗОЛОТОЕ СЕЧЕНИЕ. С историей золотого сечения связано имя первого крупного математика средневековой Европы Леонардо Пизанского, известного под именем **Фибоначчи** (1180—1240).

В 1202 г. в своей выдающейся «Книге абака» он собрал помимо большого количества математических сведений все известные тогда задачи. В их числе была и очень занятная задача про кроликов, вот её условие:

«Пару кроликов поместили в огороженный вольер. Сколько пар кроликов родится в вольере в течение года, если через месяц каждая пара кроликов производит на свет другую пару, а потомство кролики приносят со второго месяца после своего рождения?»

Поскольку первая пара кроликов — новорождённые, то на второй месяц они не дадут приплода, и останется одна пара. На третий месяц они произведут одну пару: $1 + 1 = 2$. На 4-й месяц из двух пар потомство даст лишь одна пара (вторая ещё не даёт приплода): $2 + 1 = 3$ пары. На 5-й месяц две родившиеся на 3-й месяц пары дадут потомство: $3 + 2 = 5$ пар (рис. 164). На 6-й месяц потомство дадут только те пары, которые родились на 4-м месяце: $5 + 3 = 8$ пар и т. д.

Размышляя над подобным явлением, Фибоначчи вывел следующий ряд цифр:

Месяцы	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	и т. д.
Пары кроликов	0	1	1	2	3	5	8	13	21	34	55	89	144	и т. д.

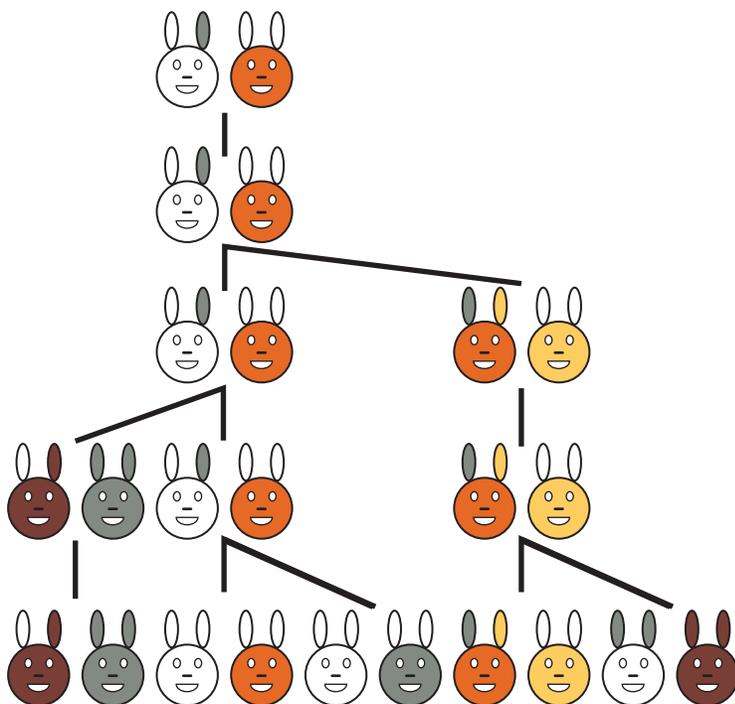


Рис. 164. Задача о кроликах

Таким образом, из данной задачи выводится устойчивая закономерность, и эти числа образуют знаменитую последовательность: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233... Сами числа называются **числами Фибоначчи**, а их последовательность — **последовательностью Фибоначчи**.

Всё достаточно просто, как всё великое. В чём же необычность этой последовательности, почему она пережила столетия, какова её связь с золотым сечением?

Оказывается, каждый член последовательности, начиная с третьего, равен сумме двух предыдущих: $2 + 3 = 5$; $3 + 5 = 8$; $5 + 8 = 13$; $8 + 13 = 21$; $13 + 21 = 34$ и т. д., а отношение смежных чисел ряда приближается к отношению золотого сечения 0,618.

Ряд Фибоначчи остался бы всего лишь математической последовательностью, если бы естествоиспытатели и искусствоведы неизменно не приходили бы к этому ряду как к арифметическому выражению закона золотого сечения.

Представление о последовательности Фибоначчи и золотом сечении дополняет спираль, очень распространённая в природе. Если увеличение шага спирали вести в соответствии с последовательностью Фибоначчи, мы получим идеальную спираль, полностью повторяющую геометрию завитой раковины. Подобную раковину и соответствующую ей спираль изучал ещё Архимед. Выведенное им уравнение спирали и сама спираль с тех пор носят его имя (рис. 165). В настоящее время закономерность спирали Архимеда широко применяется в технике.

В природе многие процессы развиваются именно по спирали. Например, по спирали метель закручивает снежные массы, по спирали зарождается и раскручивается ураган, спиральнообразно паук плетёт свою паутину, спираль прослеживается в расположении семян подсолнечника, двойной спиралью закручена молекула ДНК. Гёте называл спираль «кривой жизни». Наверное, потому что и сама наша жизнь течёт по спирали: и добро, и зло обязательно возвращаются к человеку на следующей её витке.

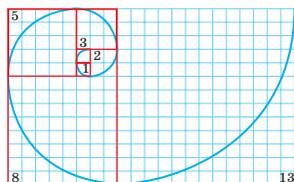


Рис. 165. Спираль Архимеда

БИОНИКА, ЕЁ СУТЬ И ЗАДАЧИ. АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНАЯ БИОНИКА. Возможно, кто-то из вас мечтает о профессии архитектора, строителя, дизайнера. Представителей этих профессий тоже можно назвать людьми искусства — искусства воплощения красоты и функциональности в камне, металле и бетоне. Одним из научных направлений, связывающих естествознание с архитектурой, стала **бионика**.

Бионика — наука, представляющая собой синтез биологии и техники, решающая инженерные задачи на основе изучения и исследования структуры и жизнедеятельности организмов.

С помощью бионики люди пытаются использовать достижения природы, уникальные свойства и структуру живых систем в решении технических вопросов.

Основоположником бионики считают Леонардо да Винчи. Он первый при разработке своего летательного аппарата пытался скопировать принцип работы и строения птичьего крыла, которое за счёт взмахов создаёт подъёмную силу.

Впоследствии достижения естествознания, открытия в биологии, химии, экологии поражали учёных гениальностью «устройства» природных объектов. Для создания сверхпрочных конструкций инженеры изучали строение крыльев насекомых, некоторые оптические системы основаны на строении нашего глаза, а система сотовой связи потому так называется, что покрывает территорию доступа в сеть, подобно пчелиным сотам.

Считается, что принципы бионики при сооружении зданий первым использовал каталонский архитектор конца XIX — начала XX в. **А. Гауди** (1852—1926). Он не просто привнёс в архитектурные сооружения декоративные элементы природы, а придал постройкам характер окружающей среды. Архитекторы, ландшафтные дизайнеры и просто ценители прекрасного до сих пор не перестают восхищаться гениальными архитектурными решениями Гауди при сооружении Парка Гуэля — чего стоит только своеобразная колоннада, выполненная в стиле античных портиков и представляющая собой подобие сросшихся стволов деревьев (рис. 166).

С развитием научных методов, углубления знаний о природе архитекторы пришли к выводу, что решение большинства проблем, над ко-

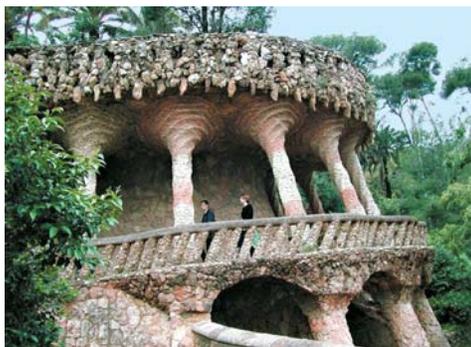


Рис. 166. Парк Гуэля в Барселоне. 1900—1914

торыми человечество билось тысячелетиями, находилось у нас под самым носом — в окружающей природе. Поэтому главной задачей бионики в архитектуре является поиск в природных биологических системах оптимальных решений. Изучение формирования тканей и строения живых организмов позволяло специалистам понять принципы экономии материала, энергии, обеспечения надёжности. Например, у некоторых глубоководных моллюсков была позаимствована «технология» создания слоистых конструкций. Их раковины состоят из чередующихся жёстких и мягких слоёв. Для строительства применение этого принципа означает, что в случае деформации верхнего, жёсткого, слоя следующий, мягкий, слой погасит разрушение и трещина останется на поверхности, не распространяясь в глубь конструкции. Эйфелева башня имеет конструкцию, сходную по строению с берцовой костью человека, и благодаря этому обладает достаточной прочностью. Современные высотные промышленные сооружения и трубы выдерживают сильные порывы ветра потому, что принцип их возведения позаимствован у стеблей злаковых растений, которые при ветре гнутся, но не ломаются и быстро восстанавливают вертикальное положение.

Именно привлечение в архитектуру знаний бионики сделало возможным начало реализации одного из самых грандиозных строительных проектов современности — шанхайского «Города-башни»



Рис. 167. Макет «Города-башни» в Шанхае

(рис. 167). В 2023 г. в Шанхае запланирована сдача в эксплуатацию колоссального здания — целого города с соответствующей инфраструктурой. Население башни составит не менее 100 тыс. человек. «Город-башня» будет иметь форму кипариса, высоту — более 1200 м. В здании будет 300 этажей, расположенных в 12 вертикальных кварталах по 80 этажей в каждом. Конструкция сооружения аналогична строению ветвей и всей кроны кипариса. Стоять башня будет на свайном фундаменте, напоминающем корневую систему дерева. Воздух будет проходить сквозь конструкцию башни, не встречая сопротивления, поэтому она выдержит самые сильные порывы

ветра. Власти Китая, перед которыми остро стоит проблема перенаселения, планируют построить несколько подобных сооружений.

ВЛИЯНИЕ ИСКУССТВА НА НАУКУ И ИХ ТЕСНАЯ ВЗАИМОСВЯЗЬ. Как это ни парадоксально, но искусство, в свою очередь, оказывает влияние на развитие научной мысли, в том числе и в области естественных наук. Вы знаете, что в начале XX в. учёные ломали голову над загадкой строения атома. Модель Резерфорда, представляющая атом как миниатюрную Солнечную систему, противоречила законам физики. Необходим был абсолютно новый, не обременённый знанием классических представлений подход к решению вопроса. Достоверно известно, что гениальному Нильсу Бору в открытии своей модели строения атома помогло созерцание выдающихся произведений живописи. Бор был очарован абстрактным миром кубистов — П. Пикассо, Ж. Брака, Х. Гриса. Он любил объяснять сущность кубизма посетителям выставок. Для Бора очарование абстракционистов состояло в возможности разрушить классическое представление об объекте. Это позволило ему создать одну из величайших абстракций естествознания — свои постулаты. Вопреки всем законам физики при движении в ядре электрона эта заряженная частица не излучает и не поглощает энергию. Поведение электронов в атоме в представлении Бора бросало вызов привычным устоям человеческого и научного понимания. Понятно, что объяснить дуализм электрона (электрон одновременно является и частицей, и волной) простыми словами невозможно: подобно картинам кубистов, научная абстракция превращает действительность в ирреальное пятно, действующее на подсознание отнюдь не словами, а созерцанием. Сам Бор говорил: «Когда дело доходит до атомов, язык может использоваться только в качестве поэзии». Электрон — это не «маленькая планета», а противоречивые пятна мазков на картинах кубистов, которые открывают свой смысл только пристальному наблюдателю с развитым воображением (рис. 168).



Рис. 168. Л. С. Полова. Портрет философа. 1915

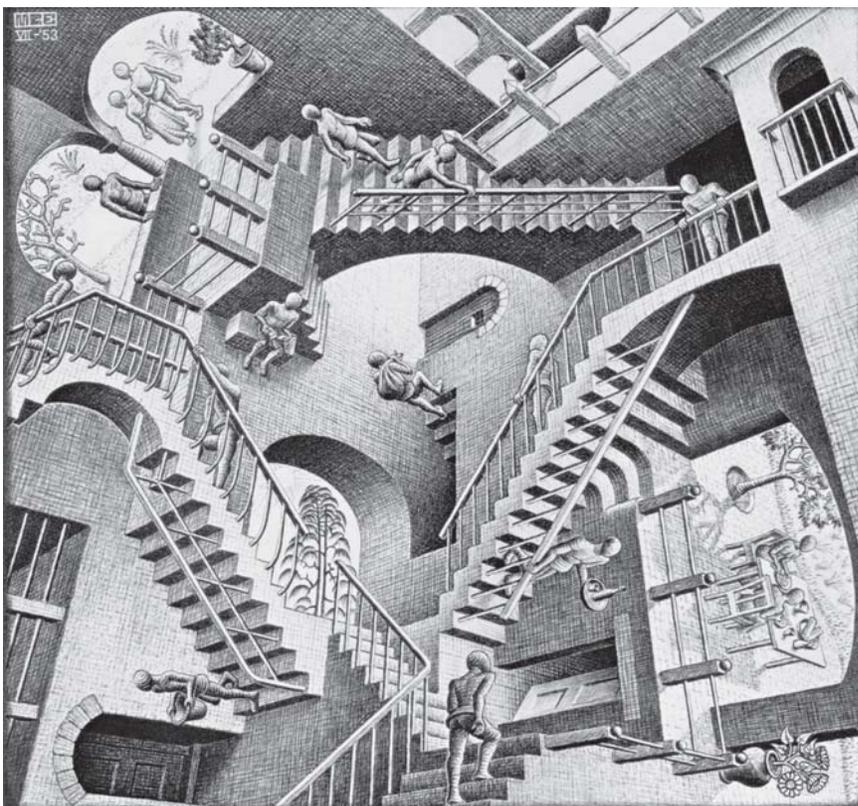
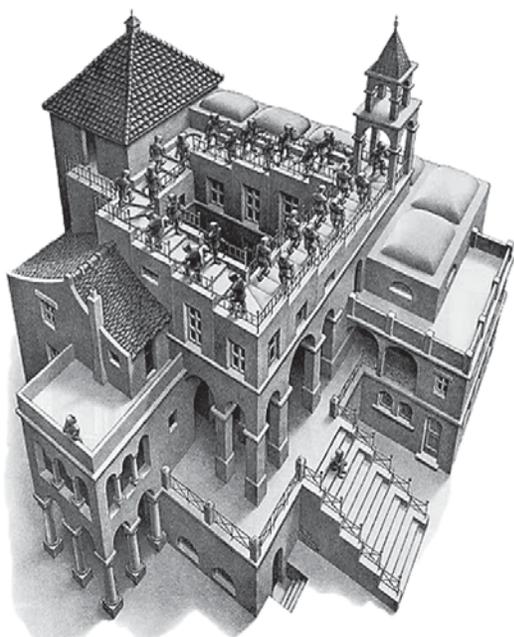


Рис. 169. М. К. Эшер.
Относительность. 1953;
Вверх и вниз. 1960



Многим знатокам изобразительного искусства известны работы голландского художника-графика М. К. Эшера. Он известен прежде всего своими гравюрами и литографиями, в которых мастерски отображал неожиданные аспекты понятий бесконечности, симметрии, а также особенности психологического восприятия трёхмерных объектов на плоскости. Однажды Эшер дал самому себе удивительно точную характеристику: «Хотя я абсолютно несведущ в точных науках, мне иногда кажется, что я ближе к математикам, чем к моим коллегам-художникам». Классическим произведениям Эшера присуще удивительное сочетание виртуозной художественной техники и остроумное изображение логических и пространственных парадоксов (рис. 169).

Это ли не художественное воплощение теории относительности Эйнштейна, ступенька к пониманию фрейдовского психоанализа, кубизма и иных достижений в области соотношения пространства и времени? И если ваша будущая профессия не будет связана с одной из естественных наук, восполнить знание о природе вам помогут произведения искусства.

Два мира, две культуры — наука и искусство — должны взаимопроникать друг в друга, обогащая нас новыми идеями и новым пониманием окружающего мира. Все мы только выиграем от того, что художники узнают о втором законе термодинамики, а учёные — о том, как были построены великие сооружения древними и средневековыми зодчими, что такое перспектива в живописи или приём сфумато (буквально: исчезающий, как дым), разработанный Леонардо да Винчи.

Ваше изучение курса естествознания подошло к концу. Мы надеемся, что с его помощью вы поняли: чем бы вам ни пришлось заниматься во взрослой жизни, неисчерпаемая глубина и красота окружающего мира поможет найти ответы на самые сложные жизненные вопросы.

Теперь вы знаете

- ▶ в чём заключается божественная пропорция и понятие золотого сечения
- ▶ как используется золотое сечение в произведениях искусства и архитектуры
- ▶ проявление золотых пропорций в природе
- ▶ как используется золотое сечение в кинематографе, поэзии, музыке
- ▶ понятия «ряд Фибоначчи», «спираль Архимеда» и «золотое сечение»
- ▶ что такое бионика, её суть и задачи, архитектурно-строительная бионика
- ▶ в чём заключается влияние искусства на науку и их тесная взаимосвязь

Теперь вы можете

- ▶ дать определение золотого сечения, привести примеры его использования в искусстве и архитектуре

- ▶ описать применение золотого сечения в кинематографе, поэзии, музыке, в природе
- ▶ объяснить, что такое ряд Фибоначчи, спираль Архимеда и как они связаны с золотым сечением
- ▶ сформулировать, что такое бионика и где находят воплощение её принципы
- ▶ проиллюстрировать взаимосвязь природы и техники на примерах из бионики
- ▶ проанализировать взаимосвязь искусства и науки и их влияния друг на друга

☉ Выполните задания

1. Объясните, что такое божественная пропорция и почему она является универсальным показателем красоты и гармонии.
2. Измерьте длину и ширину экрана вашего телевизора, монитора, экрана ноутбука, найдите отношение ширины к длине, в каком случае это отношение ближе к золотому сечению, сравните это соотношение для техники прошлых лет и современной, сделайте вывод.
3. Приведён фрагмент последовательности Фибоначчи: ...987, 1597, 2584...; вычислите два предыдущих и два последующих члена последовательности, запишите отношение двух соседних чисел, которые ближе к значению золотого сечения.
4. Найдите в Интернете и распечатайте изображение телебашни архитектора Шухова и шуховского маяка, объясните, какие природные аналоги можно считать прототипом их конструкции.
5. Многие технические решения позаимствованы человеком у природных объектов. Например, принцип работы застёжки-«липучки» не что иное, как свойство обычного репейника. Найдите другие примеры подобных решений.
6. Мы уже обращались к известным строкам А. С. Пушкина:
 О сколько нам открытий чудных
 Готовят просвещенья дух,
 И опыт, сын ошибок трудных,
 И гений, парадоксов друг,
 И случай, бог изобретатель.
 Скажите, как теперь вы понимаете это стихотворение и какую роль здесь сыграло естествознание.

☉ Темы для рефератов

1. КОАПП (Комитет по охране авторских прав природы) — детские радиопередачи 1960—1970-х гг. о проблемах бионики.
2. Божественные пропорции

в живописи художников эпохи Возрождения. 3. Золотое сечение в ландшафтном дизайне, композиции парков. 4. Золотое сечение в живой природе. 5. Гармония — одна из форм прекрасного во все времена. 6. Красота природы в произведениях изобразительного искусства и литературы. 7. Искусство, человек, Вселенная: научная и художественная литература. 8. Нейробионика и искусственный интеллект. 9. Научная деятельность Фибоначчи и его волшебные числа. 10. Искусство и наука — двигатели цивилизации.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

9 Изучение явления электромагнитной индукции

Цель работы: исследовать явление электромагнитной индукции и научиться получать индукционный ток.

Оборудование: полосовой магнит, электромагнит разборный, миллиамперметр, лабораторный источник питания, ключ, реостат, соединительные провода.

Ход работы

1. Соедините миллиамперметр с одной из катушек электромагнита.
2. Внося электромагнит в катушку, фиксируйте появление индукционного тока в катушке и его направление. Повторите опыт, выдвигая магнит из катушки.
3. Изменяя скорость движения полосового магнита внутри катушки, исследуйте влияние скорости на значение силы индукционного тока.
4. Соберите цепь, состоящую из последовательно соединённых источника электрического тока, второй катушки электромагнита, реостата и ключа. Расположите рядом с этой катушкой катушку электромагнита, соединённую с миллиамперметром.
5. Замыкая и размыкая цепь, проследите, возникает ли электрический ток в катушке, соединённой с миллиамперметром, при замыкании и размыкании цепи и каково его направление.
6. Замкните цепь второй катушки, с помощью реостата изменяйте в ней силу тока. Проследите, возникает ли электрический ток в катушке, соединённой с миллиамперметром, при изменении силы тока в цепи и каково его направление.
7. Сделайте выводы относительно условий возникновения индукционного тока, его направления и силы.

10 Золотое сечение и его отражение в произведениях искусства

Цель работы: научиться выполнять золотое сечение отрезка, чертить золотой треугольник и прямоугольник; освоить правило третей; научиться анализировать произведения искусства на предмет соответствия золотому сечению и правилу третей; научиться выстраивать композицию фотографии или рисунка с учётом правила третей.

Оборудование: компьютер, подключенный к сети Интернет, цифровой фотоаппарат, иллюстрации произведений живописи, архитектуры, скульптуры и др.; бумага, линейка, циркуль, карандаш, альбом с репродукциями картин.

Ход работы

1. Построение золотого сечения отрезка.

Формально с помощью непосредственных измерений линейкой разделить отрезок в точке золотого сечения невозможно, поскольку число ϕ — иррациональное, равное $1,618033\dots$ Сделать это можно с использованием циркуля и линейки, причём были найдены различные способы построения. Применим для деления отрезка в золотой пропорции два наиболее простых.

Способ А. На листе бумаги начертите произвольный отрезок AB .

Проведите перпендикуляр к отрезку AB в точке B (рис. 170). Отложите на нём отрезок $BD = 2AB$. Из точки D проведите окружность радиусом DK , где $DK = AB$. Разделите отрезок AK пополам, отметьте точку E , при этом $AK = 2AE$. Проведите циркулем дугу с центром в точке A и радиусом AE . Дуга пересечёт отрезок AB в точке золотого сечения C .

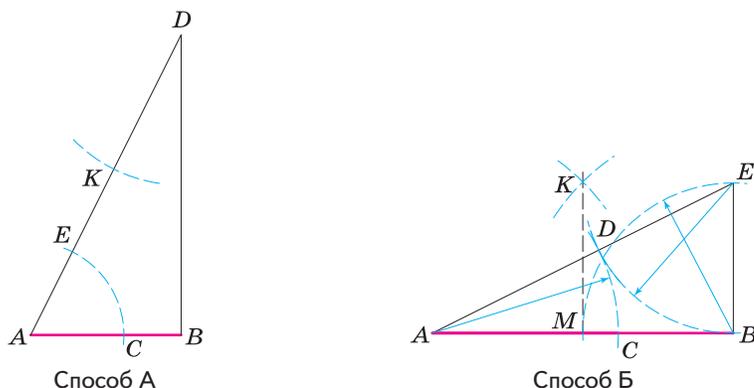


Рис. 170. Деление отрезка в золотой пропорции двумя способами

Способ Б. На листе бумаги начертите произвольный отрезок AB .

Разделите отрезок AB пополам. Для этого из точек A и B проведите циркулем две пересекающиеся дуги произвольного радиуса. Из полученной точки K опустите перпендикуляр на отрезок AB . Он пересечёт AB ровно посередине, в точке M . Из точки B восставляется перпендикуляр. С помощью циркуля отложите на нём отрезок BE , равный половине AB (проведите циркулем дугу из точки M с центром в точке B). Полученную точку E соедините с точкой A . На полученной линии отложите циркулем отрезок ED , равный EB . Отрезок AD перенесите циркулем на прямую AB . Полученная при этом точка C делит отрезок AB в соотношении золотой пропорции.

Произведите проверку. Измерьте длины отрезков AB и AC на обоих чертежах. Найдите отношения AB/AC , AC/CB и обратные им величины. Чему равны эти отношения с точностью до сотых?

2. Построение золотого треугольника.

Проведите вертикальную прямую, отметьте на ней точку A (рис. 171). От точки A отложите на прямой трижды отрезок c произвольной величины, через полученную точку P проведите перпендикуляр к линии AP . На перпендикуляре вправо и влево от точек B и B_1 отложите отрезки c . Полученные точки B и B_1 соедините прямыми с точкой A . Вы построили золотой треугольник ABB_1 .

Отложите с помощью циркуля отрезок BB_1 (откладываем на сторону AB). Полученная точка C делит отрезок AB в пропорции золотого сечения. Проведите проверку, найдя соотношение AB/AC .

3. Построение золотого прямоугольника.

Начертите квадрат и разделите его на два равных прямоугольника (рис. 172, а). В одном из прямоугольников проведите диагональ AB (рис. 172, б). Циркулем проведите окружность радиусом AB с центром в точке A (рис. 172, в). Продолжите основание квадрата до пересечения с дугой в точке P и прове-

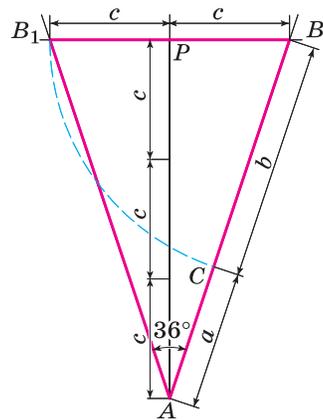


Рис. 171. Построение золотого треугольника

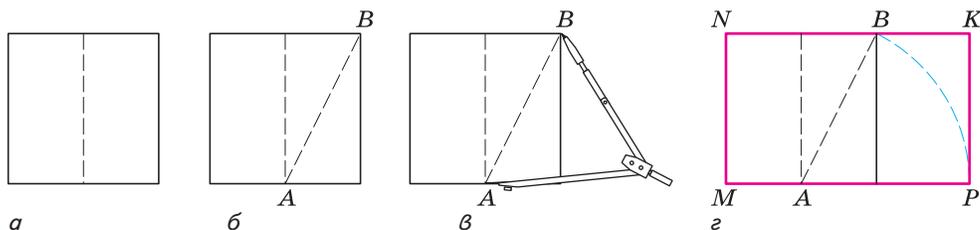


Рис. 172. Построение золотого прямоугольника

дите под прямым углом вторую сторону золотого прямоугольника $MNKP$ (рис. 172).

Проверьте соотношение длин сторон MP/PK , убедитесь, что оно близко к золотому сечению.

Более того, прямоугольник со сторонами BK и PK получился тоже золотым! Невероятно, но, отрезав от него квадрат со стороной BK , вы получите новый золотой прямоугольник и так до бесконечности. Выполните две-три стадии такого деления и проведите соответствующие расчёты в подтверждение соблюдения золотой пропорции.

Вы научились находить, казалось бы, совершенно ординарную точку на обычном отрезке, строить неприметные на первый взгляд треугольник и прямоугольник. Между тем эти фигуры обеспечивают красоту, гармонию и соразмерность в окружающем нас мире.

4. Правило третей.

Ещё в эпоху Возрождения художники открыли, что любая картина имеет определённые точки, невольно приковывающие наше внимание, так называемые зрительные центры. При этом абсолютно неважно, какой формат имеет картина — горизонтальный или вертикальный. Таких точек всего четыре, они делят величину изображения по горизонтали и вертикали в золотом сечении, т. е. расположены на расстоянии примерно $3/8$ и $5/8$ от соответствующих краёв плоскости (рис. 173).

Данное открытие у художников того времени получило название «золотое сечение картины». Поэтому, для того чтобы привлечь внимание к главному элементу изображения, необходимо совместить этот элемент с одним из зрительных центров.

Принцип построения композиции, основанный на упрощённом золотом сечении картины, называют правилом третей. Оно заключается в том, что при определении зрительных центров изображение делится линиями, параллельными его сторонам, в пропорции $5 : 8$, или $3 : 5$, или $1 : 2$ (т. е. соседние числа последовательности Фибоначчи).

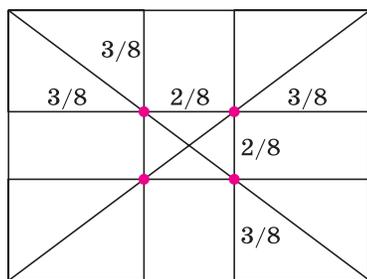


Рис. 173. Золотое сечение картины

Найдите в сети Интернет и изучите правило третей и его применение в построении композиций фотографий, рисунков, картин, рекламных изображений. Для этого можно воспользоваться материалами «Википедии», а также сайтами:

<http://www.photojob.ru/blog/school/54>

<http://www.cambridgeincolour.com/ru/tutorials/ru-rule-of-thirds.htm>

http://www.babyblog.ru/community/post/babyblog_photo/218197

5. Анализ произведений искусства на соответствие правилу третей.

Из альбома с репродукциями проанализируйте на соответствие правилу третей не менее 10 картин. Композиция какой из них наиболее соответствует золотому сечению картины?

Для выполнения данного задания можно воспользоваться возможностями Интернета. На сайте <http://fcior.edu.ru> найдите цифровой образовательный ресурс «Золотое сечение. Практическая исследовательская работа». Выполните содержащееся там задание.

6. Практическое использование правила третей.

Снимите цифровым фотоаппаратом различные объекты, например человека, природу, здание, скульптуру, интерьер и т. д. При построении композиции используйте правило третей, а именно:

а) при фотографировании пейзажей используйте горизонтальные линии сетки для горизонта, стыка воды и земли (побережье озера, моря и т. д.);

б) в фотографировании портретов используйте горизонтальные линии для расположения глаз или, в групповых снимках, голов;

в) используйте вертикальные линии сетки для таких вещей, как деревья, водопады, специфические детали архитектуры или просто для человека с фоном за ним;

г) старайтесь поместить специальные фокусные точки в углах среднего прямоугольника (на пересечениях линий).

Перенесите фотографии на компьютер, выберите пять лучших. Проанализируйте их на предмет выполнения правила третей.

Проведите в классе конкурс на лучшую фотографию.

ГЛАВА I. МИКРОМИР. АТОМЫ. ВЕЩЕСТВА. РЕАКЦИИ

§ 1. Основные сведения о строении атома	5
§ 2. Периодический закон и строение атома	11
§ 3. благородные газы. Ионная химическая связь	20
§ 4. Ковалентная химическая связь	26
§ 5. Металлическая химическая связь	33
§ 6. Молекулярно-кинетическая теория. Агрегатные состояния вещества	39
§ 7. Углеводороды	49
§ 8. Жидкие вещества. Нефть	56
§ 9. Твёрдое состояние вещества. Жидкие кристаллы	64
§ 10. Классификация неорганических веществ и её относительность	72
§ 11. Теория химического строения органических соединений А. М. Бутлерова	76
§ 12. Полимеры	83
§ 13. Смеси веществ, их состав и способы разделения	91
§ 14. Дисперсные системы	99
§ 15. Химические реакции и их классификация	107
§ 16. Скорость химической реакции	114
§ 17. Обратимость химической реакции и химическое равновесие	121
§ 18. Окислительно-восстановительные реакции. Электролиз	126
§ 19. Химические источники тока	133
Практические работы	138
1. Изучение фотографий треков заряженных частиц	138
2. Получение, соби́рание и распознавание газов	138
3. Изучение химических реакций	140
4. Сборка гальванического элемента и испытание его действия	141

ГЛАВА II. ЧЕЛОВЕК И ЕГО ЗДОРОВЬЕ

§ 20. Систематическое положение человека в мире животных	145
§ 21. Генетика человека	151
§ 22. Физика человека	159
§ 23. Химия человека	168
§ 24. Витамины	176
§ 25. Гормоны	183
§ 26. Лекарства	190
§ 27. Здоровый образ жизни	199
§ 28. Физика на службе здоровья человека	211

Практические работы 218

5. Создай лицо ребёнка	218
6. Оценка биологического возраста	224
7. Оценка индивидуального уровня здоровья	226
8. Определение суточного рациона питания	228

ГЛАВА III. ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ НА СЛУЖБЕ ЧЕЛОВЕКА

§ 29. Элементарны ли элементарные частицы?	233
§ 30. Большой адронный коллайдер	239
§ 31. Атомная энергетика	246
§ 32. Продовольственная проблема и пути её решения	257
§ 33. Биотехнология	266
§ 34. Нанотехнология	276
§ 35. Физика и повседневная жизнь человека	287
§ 36. Химия в быту	298
§ 37. Синергетика	308
§ 38. Естествознание и искусство	316

Практические работы

9. Изучение явления электромагнитной индукции	329
10. Золотое сечение и его отражение в произведениях искусства	330

Учебное издание

**Габриелян Олег Сергеевич
Остроумов Игорь Геннадьевич
Пурышева Наталия Сергеевна
Сладков Сергей Анатольевич
Сивоглазов Владислав Иванович**

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ

11 класс

Базовый уровень

Учебник

Зав. редакцией *Е. Н. Тихонова*
Ответственный редактор *И. В. Ермакова*
Художественный редактор *М. В. Мандрыкина*
Макет *А. А. Шувалова*
Художественное оформление *А. А. Шувалова*
Технический редактор *И. В. Грибкова*
Компьютерная верстка *Г. А. Фетисова*
Корректор *Г. И. Мосякина*

В соответствии с Федеральным законом от 29.12.2010 г. № 436-ФЗ
знак информационной продукции на данное издание не ставится

Сертификат соответствия
№ РОСС RU. АЕ51. Н 16508.



Подписано к печати 09.08.13. Формат 70 × 100 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура «Школьная». Печать офсетная.
Усл. печ. л. 26,10. Тираж экз. Заказ № .
ООО «ДРОФА». 127018, Москва, Суцеский вал, 49.

**Предложения и замечания по содержанию и оформлению книги
просим направлять в редакцию общего образования издательства «Дрофа»:
127018, Москва, а/я 79. Тел.: (495) 795-05-41. E-mail: chief@drofa.ru**

**По вопросам приобретения продукции издательства «Дрофа»
обращаться по адресу: 127018, Москва, Суцеский вал, 49.
Тел.: (495) 795-05-50, 795-05-51. Факс: (495) 795-05-52.**

Сайт ООО «ДРОФА»: www.drofa.ru

Электронная почта: sales@drofa.ru

Тел.: 8-800-200-05-50 (звонок по России бесплатный)