

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

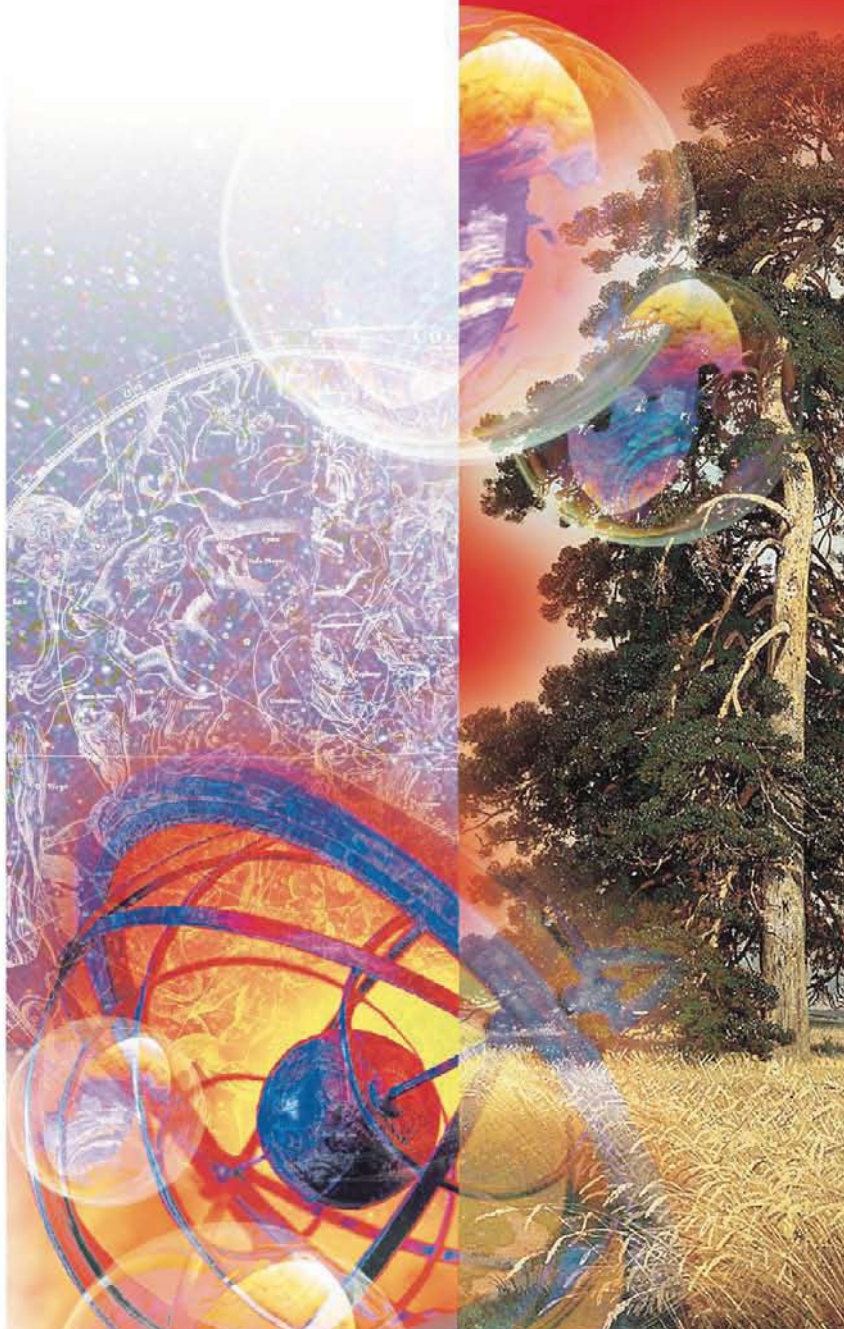


ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ

БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

10

класс



О. С. Gabrielyan, И. Г. Oстроумов,
Н. С. Пурышева, С. А. Сладков,
В. И. Сивоглазов

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ

БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

Учебник

Допущено
Министерством просвещения
Российской Федерации

13-е издание, стереотипное

10
класс

Москва
«Просвещение»
2024

УДК 373.167.1:5+5(075.3)

ББК 20я721

Е86

Учебник допущен к использованию при реализации имеющих государственную аккредитацию образовательных программ начального общего, основного общего, среднего общего образования организациями, осуществляющими образовательную деятельность, в соответствии с Приказом Министерства просвещения Российской Федерации № 254 от 20.05.2020 (в редакции Приказа № 766 от 23.12.2020).

Издание выходит в pdf-формате.

Е86 Естествознание : 10-й класс : базовый уровень : учебник : издание в pdf-формате / О. С. Габриелян, И. Г. Остроумов, Н. С. Пурышева [и др.]. — 13-е изд., стер. — Москва : Просвещение, 2024. — 334, [2] с. : ил.

ISBN 978-5-09-116500-5 (электр. изд.). — Текст : электронный.
ISBN 978-5-09-111508-6 (печ. изд.).

Учебник адресован учащимся 10 класса гуманитарного, социально-экономического, информационно-технологического профиля.

Новый учебный курс «Естествознание» рассматривает объекты и явления естественного мира в гармонии физики, химии, биологии, астрономии, географии и экологии. Учебник содержит главы «Естествознание и методы познания мира», «Мегамир», «Макромир». В конце каждого параграфа даны результаты его изучения, темы рефератов, задания, позволяющие применить полученные знания. Каждая глава завершается методическими рекомендациями по проведению исследовательских работ.

Учебник соответствует Федеральному государственному образовательному стандарту среднего общего образования.

Границы на картах даны на октябрь 2022 г.

УДК 373.167.1:5+5(075.3)
ББК 20я721

ISBN 978-5-09-116500-5 (электр. изд.)

ISBN 978-5-09-111508-6 (печ. изд.)

© АО «Издательство «Просвещение», 2021

© Художественное оформление.

АО «Издательство «Просвещение», 2021

Все права защищены

Дорогие старшеклассники!

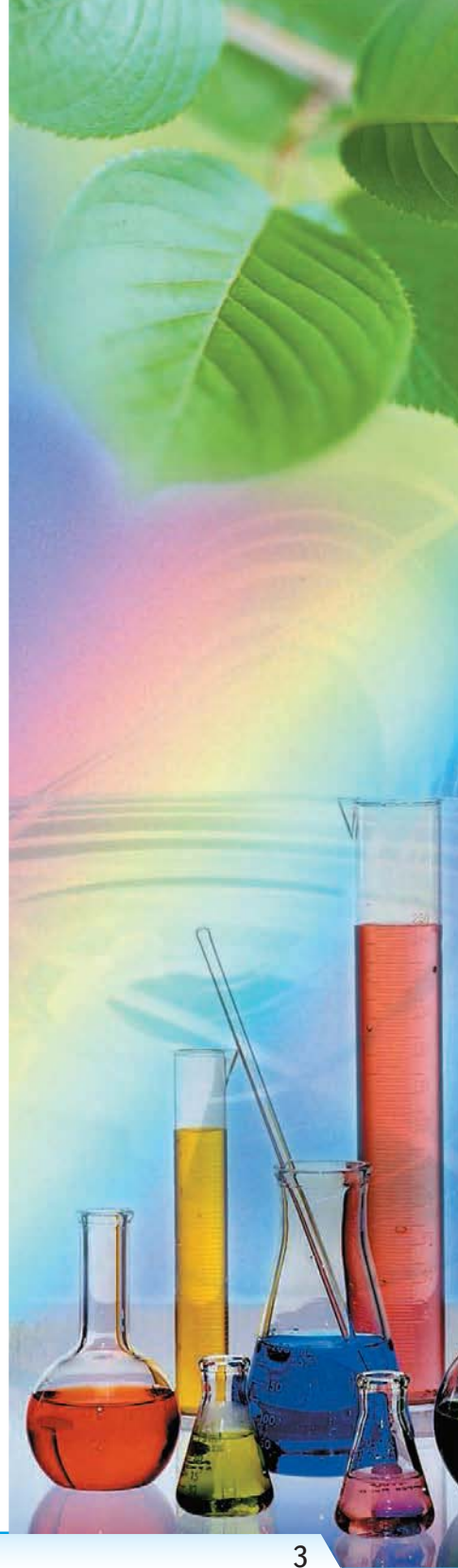
Вы начинаете изучать предмет, который называется «Естествознание». С основами естественно-научных знаний вы знакомились в начальной школе, когда изучали предмет «Окружающий мир». Некоторые из вас знакомились даже с курсом «Естествознание» в 5—6 классах. Тогда возникает вопрос: зачем в 10—11 классах опять возвращаться к этому курсу?

До настоящего времени вы изучали основы отдельных естественных наук, т. е. наук о природе. К ним относятся физика, астрономия, биология, химия, физическая география.

После знакомства с основами этих наук необходима интеграция (от *лат.* *integrum* — целое) отдельных дисциплин в целостную систему восприятия живого, красочного, неповторимого, взаимосвязанного мира природы и человека как неотъемлемой части этого мира.

Сейчас вы приступаете к изучению естествознания, которое представляет собой область научных знаний о природе как едином целом, используя при этом методы, теории и законы всех естественных наук.

Изучение естествознания будет скучным и бесцветным, если при этом не обратить внимания на историю его развития, на то, как она отразилась в произведениях изобразительного искусства и литературы раз-





личных эпох. Именно поэтому на страницах учебника вы будете неоднократно встречаться с шедеврами мировой и отечественной культуры. Надеемся, что это может вам представить полноценную картину мира, насыщенную красками, чувствами и эмоциями.

Постарайтесь, чтобы процесс познания мира не стал для вас формальным. Необходимо, чтобы ум и сердце «неустанно трудились». Поэтому вам придётся постоянно работать самостоятельно при выполнении заданий к параграфам. А чтобы результат этой работы был эффективным, вам придётся пользоваться разнообразными источниками информации.

В учебнике теоретический материал подкрепляется достаточным количеством лабораторных опытов, практических и исследовательских работ, которые помогут вам применить законы и теории на практике.

Желаем вам успехов!

Авторы

глава

Естествознание и методы познания мира





§ 1. Естествознание — совокупность научных знаний о природе

1. Сравните известные вам из курса основной школы геоцентрическую и гелиоцентрическую системы мира.
2. Назовите имена физиков, биологов, химиков, которые внесли значительный вклад в науку. Укажите, в чём заключается этот вклад.

ЧТО ЗАСТАВИЛО ЛЮДЕЙ ИЗУЧАТЬ ПРИРОДУ. Изучение природы в человеческом обществе началось не из простого любопытства, оно было обусловлено необходимостью борьбы за выживание, за сохранение и продолжение рода. Представьте себе жизнь первобытного человека. Он должен был хорошо знать повадки животных, на которых охотился. Это были не только мелкие зверьки, но и настоящие гиганты — мамонты, шерстистые носороги, большерогие олени, пещерные медведи. В свою очередь, первобытному человеку необходимо было самому не стать добычей хищников, обустроить надёжное жилище, защититься от неблагоприятных природных явлений.

ЧТО ЗНАЛИ О ПРИРОДЕ ЛЮДИ КАМЕННОГО ВЕКА. Свои знания о природе люди передавали в рисунках на стенах жилищ — пещер. К эпохе *верхнего* (позднего) *палеолита* (35—10 тыс. лет назад) — древнекаменного века относятся изображения более сотни живых существ, в том числе морских животных и насекомых. Некоторые рисунки свидетельствуют о появлении у древних людей первых анатомических представлений (рис. 1). Так, есть рисунки, на которых голова бизона изображена с отходящим от неё позвоночником, а слон — с сердцем в грудной клетке.

Наскальные рисунки выполнялись красками, изготовленными из минерального сырья — глины с примесью оксидов железа (охра), древесного угля, графита, мела, окрашенных минералов. Заметим, что уже в те далёкие времена люди обнаруживали и использовали практически важные для них свойства веществ: минеральные пигменты имели различные оттенки, не выгорали, прочно удерживались на поверхности камня.

С наступлением новокаменного века — *неолита* (9—6 тыс. лет назад) в первобытном обществе зародилось сельское хозяйство. Люди стали одомашнивать диких животных, заниматься растениеводством. Естественно, что им потребовались практические знания не только о свойствах растений и повадках животных, но также о том, когда наступает сезон проведения тех или иных сельскохозяйственных работ:

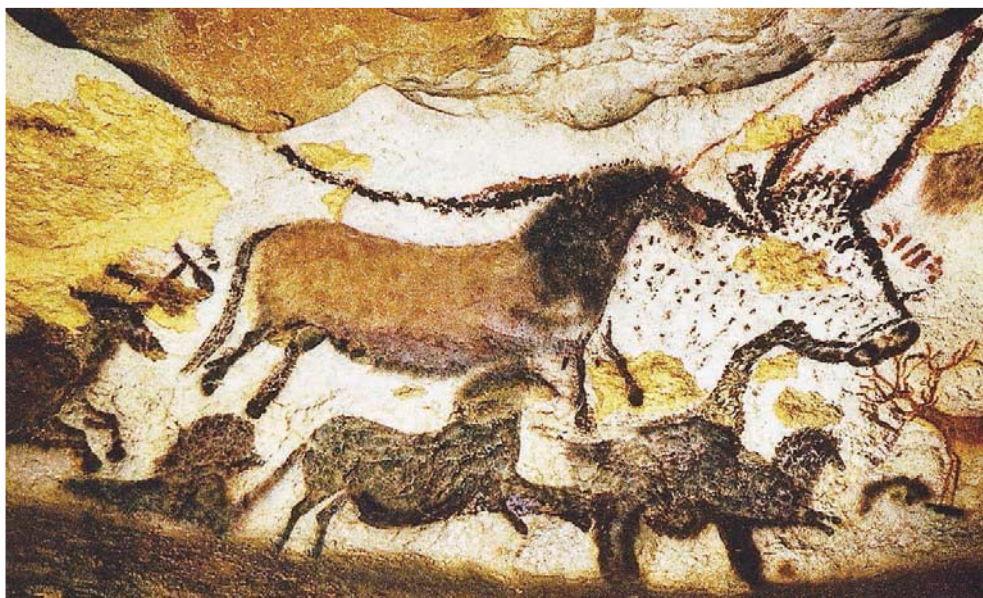


Рис. 1. Некоторые рисунки точно передают пропорции животных (пещера Шове, Франция). Ок. 32 тыс. лет до н. э.

посева, полива и сбора урожая. Зависимость земледелия и скотоводства от разливов рек и других периодических природных явлений привела к необходимости создания *календаря*. Поэтому в эпоху неолита раньше других наук о природе стала развиваться астрономия.

Астрономия — это наука о движении, строении, происхождении и развитии небесных тел и их систем.



Рис. 2. Древняя обсерватория — Стоунхендж

Именно тогда в Азии, Европе и Центральной Америке появились первые *обсерватории* — каменные сооружения, которые использовались для наблюдений за движением Солнца и Луны. Самой известной и хорошо сохранившейся из числа этих древнейших астрономических обсерваторий является Стоунхендж (рис. 2), который расположен на юге Англии. Он служил в то же время грандиозным храмом под открытым небом. Людям той эпохи, у которых не было в руках календаря, важно было точно определить хотя бы один день в году. Тогда от него можно было вести счёт дней и определять сроки проведения всех жизненно важных работ на протяжении целого года. Обычно в качестве такого дня выбирали день летнего солнцестояния, замечая восход Солнца в определённой точке горизонта.

КАК РАСШИРЯЛИСЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЛЮДЕЙ О ПРИРОДЕ В ДРЕВНЕМ МИРЕ.

В древних рабовладельческих государствах знания о природе становились всё более глубокими и упорядоченными. Важным обстоятельством стало постепенное отделение естественно-научных представлений от религиозных. Но хотя знания всё ещё облекались в мифологическую форму и сохранялось обожествление некоторых животных и растений, возникли первые классификации растений и животных, представления о строении живого организма и функциях различных органов, зачатки медицины (рис. 3). Кроме того, в практических целях использовались колесо, рычаг и простейшие механизмы. Астрономия, которая, как и другие науки, возникла на основе практических потребностей человека, продолжала развиваться. Календарь — одно из важнейших достижений астрономии — улучшался и постепенно приближался к современному виду.

Круг проблем, которые решала астрономия, со временем расширялся. В VII—VI вв. до н. э. в Вавилоне был определён период повторяемости солнечных и лунных затмений — *сарос*. Это позволило в 585 г. до н. э. впервые предсказать солнечное затмение. В 540—550 гг. до н. э. известный математик *Пифагор Самосский* высказал идею шарообразности Земли. Спустя 300 лет *Эратосфен* (ок. 276—194 до н. э.) впервые определил размеры земного шара путём измерения дуги меридиана.

Первые путешествия — во II тысячелетии до нашей эры

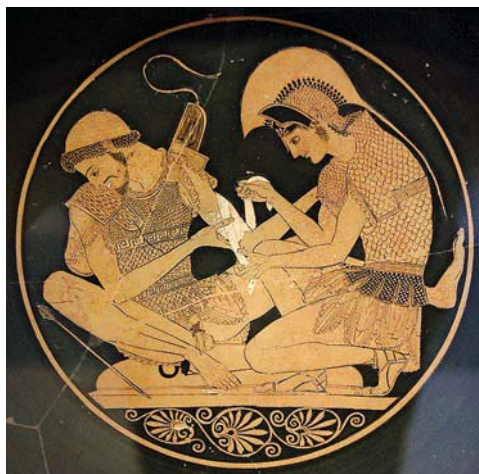


Рис. 3. Ахиллес, перевязывающий рану Патроклу. Роспись на дне чаши. Ок. 500 г. до н. э.

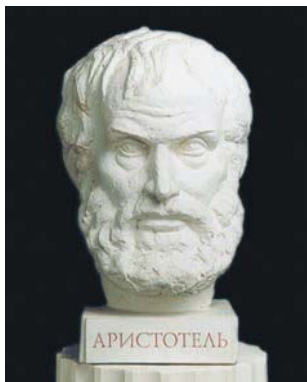
в Древнем Египте снаряжались экспедиции в центр Африки, по Средиземному и Красному морям, — миграции, войны и торговля расширяли знания людей об окружающих пространствах, вырабатывали способы ориентирования по Солнцу, Луне и звёздам. Элементы географических знаний содержат священные древнеиндийские книги: в «Ведах» целая глава посвящена космологии, в «Махабхарате» можно найти перечень известных жителям Древней Индии океанов, гор, рек. В IX—VIII вв. до н. э. в Древнем Китае при выборе места для постройки крепости составляли карты подходящих участков. В III в. до н. э. появляются сочинения, целиком посвящённые географии, первые географические карты, а также компас и прибор для измерения расстояний.

Представления о мире как о едином целом начали складываться в Древней Греции в VI—V вв. до н. э. При этом считалось, что существует некая первооснова, единое начало, которое определяет особенности протекания всех природных явлений. Так, *Фалес* (ок. 625 — ок. 547 до н. э.) считал первоосновой воду, *Анаксимен* (ок. 566 — ок. 499 до н. э.) — воздух, а в соответствии с представлениями *Эмпедокла* (ок. 490 — ок. 430 до н. э.) причиной всех изменений в природе является различное сочетание четырёх стихий: огня, воздуха, воды и земли. Он же предложил первую формулировку закона сохранения материи — «ничто не может произойти из ничего, и никак не может то, что есть, уничтожиться бесследно».

Наиболее выдающейся фигурой того времени является *Аристотель* (384—322 до н. э.) — философ и учёный-энциклопедист, труды которого охватили все области знаний того времени. Он основал науку логику и ввёл в научный язык термин «физика». Аристотель понимал физику как науку, которая «имеет дело с таким бытием, которое способно к движению, и с такой сущностью... которая не может существовать отдельно от материи». Кроме того, Аристотель описал более 500 видов различных животных и первым осуществил их классификацию и систематизацию.

Отрицая возможность обращения Земли вокруг Солнца, он был сторонником геоцентрической системы мира. Главной заслугой Аристотеля стало создание единой системы знаний, которой до него не существовало. Авторитет Аристотеля в научном мире был столь велик, что на протяжении почти двух тысячелетий его мнение по многим вопросам не подвергалось сомнению.

Единые представления о природе, их целостную систему стали называть **натурфилософией** (от *лат.* *natura* — природа). Именно натурфилософия считается первой в истории формой существования знаний о природе, предшественницей естествознания.



Бюст Аристотеля
в Государственном
Дарвиновском музее

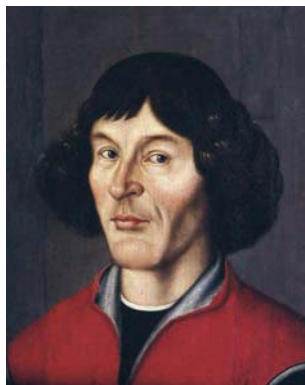
После расцвета античной культуры, в частности натурфилософии, в Европе начался длительный (более 1000 лет) период, в течение которого не было сделано ни одного существенного научного открытия. Только во втором тысячелетии (по завершении эпохи Средневековья) стали развиваться ремёсла, торговля и мореплавание. Потребность в образованных людях привела к появлению первых университетов. Наступала эпоха Возрождения.

КАК РАСШИРЯЛИСЬ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЛЮДЕЙ О ПРИРОДЕ ОТ ЭПОХИ ВОЗРОЖДЕНИЯ ДО НАШИХ ДНЕЙ. Считают, что первую научную революцию можно датировать 1543 г., когда появилась книга *Н. Копérника* (1473—1543) «О вращении небесных сфер», в которой он обосновал **гелиоцентрическую систему мира**.

Г. Галилей (1564—1642) — последователь Коперника — использовал телескоп для наблюдения звёздного неба, открыл горы на Луне, пятна на Солнце, обнаружил четыре спутника Юпитера. Началось дальнейшее развитие астрономии — науки о строении и развитии космических тел, образуемых ими систем и Вселенной в целом.

Развитие **физики**, так же как и астрономии, связано прежде всего с именем Галилея, который считается основоположником научного метода изучения явлений природы и учёным, обосновавшим роль эксперимента в науке. Галилею и *Ньютону* (1643—1727) принадлежит заслуга в построении классической механики, ядром которой являются три закона Ньютона. В конце XVIII — начале XIX в. были проделаны эксперименты, послужившие основой учения об электричестве и магнетизме. К таким фундаментальным физическим экспериментам относятся: опыт *Ш. О. Кулона* (1736—1806), позволивший установить закон взаимодействия покоящихся электрических зарядов; опыт *Г. Ома* (1787—1854), в котором была установлена связь между величинами, характеризующими прохождение электрического тока в замкнутой цепи; опыты *Х. К. Эрстеда* (1777—1851), *А. М. Ампера* (1775—1836), *М. Фарадея* (1791—1867), доказавшие связь электричества и магнетизма. Результаты их исследований позволили *Дж. К. Максвеллу* (1831—1879) создать теорию электромагнитного поля (электродинамику), построение ко-

» **Вспомните**, в чём сущность гелиоцентрической системы. Какую систему мира она опровергала?



Николай Коперник.
Портрет из Фромборкского замка работы неизвестного художника XVI в.

торой завершилось в 1905 г. в результате работ *А. Эйнштейна* (1880—1952), посвящённых специальной и общей теории относительности.

В конце XIX в. начинает развиваться квантовая физика. Её основоположник *М. Планк* (1858—1947) объяснил процессы излучения и поглощения света веществом исходя из того, что свет представляет собой поток частиц (фотонов), обладающих энергией и импульсом. Появление мощных приборов для осуществления физического эксперимента позволило создать модели строения атома и атомного ядра, открыть большое число элементарных частиц. Современные представления о строении атома сформировались в результате работ *Дж. Дж. Томсона* (1856—1940), *Э. Резерфорда* (1871—1937), *Н. Бора* (1885—1962).

Биология как наука началась с развития анатомии и физиологии — учений о строении человеческого тела и о его функционировании. В 1543 г. профессором Падуанского университета *А. Везалием* (1514—1564) была написана книга «О строении человеческого тела». Выводы, которые в ней содержались, можно было проверить и использовать на практике. В 1628 г. в книге английского врача *У. Гарвея* (1578—1657) «Анатомическое исследование о движении сердца и крови у животных» были представлены доказательства того, что артерии и вены являются частями замкнутого круга кровообращения. Вычислив количество крови, проходившей через сердце за час, он доказал, что полученный им результат не соответствует принятой в то время модели кровообращения, которая предполагала, что в сердце артериальная и венозная кровь смешиваются.

Первая **эволюционная теория** *Ж. Б. Ламарка* (1744—1829) появилась в начале XIX в. В соответствии с этой теорией процесс эволюции представляет собой восхождение от низших форм организмов к высшим под влиянием окружающей среды. Новый этап в развитии биологии наступил после создания *Ч. Дарвином* (1809—1882) теории эволюции. Её ключевые положения — концепция наследственной изменчивости и естественного отбора. Становление **генетики** — науки о наследственности и изменчивости организмов — связано в первую очередь с именами *Г. И. Менделя* (1822—1884), *Т. Х. Моргана* (1866—1945), *Н. И. Вавилова* (1887—1943). В результате синтеза дарвинизма, генетики и экологии сформировалась современная теория эволюции.

Истоки **химии** находятся в глубокой древности.

Отдельные химические сведения, накопленные за много веков, позволяли сделать некоторые обобщения о природе веществ и явлений. Греческий философ Демокрит (V в. до н. э.) впервые высказал мысль о том, что все тела состоят из мельчайших невидимых неделимых и вечно движущихся частиц материи — атомов. В знаменитой Александрийской библиотеке (III в. до н. э., одно из семи чудес света, в ней

насчитывалось 700 тыс. рукописных книг) хранились и многие труды по химии. В них описывались такие процессы, как прокаливание, перегонка, перегонка, фильтрование и др.

Отдельной эпохой в истории химии является алхимический период. Арабы, завоевав Египет, приобрели и передали дальше в Европу практические познания и название этой науки (*хеми* — чёрная земля, Египет), добавив к нему свою приставку *ал-*. Так образовалось слово «алхимия». Целью алхимиков был поиск путей превращения неблагородных металлов в благородные (золото и серебро) с помощью особого вещества — философского камня.

Философскому камню приписывали не только свойство превращать неблагородные металлы в благородные, но также способность возвращать человеку молодость и сохранять здоровье. В поисках философского камня алхимики открыли много новых веществ, разработали способы их очистки, изобрели химические приборы (рис. 4).

В XVIII в. благодаря работам А. Л. Лавуазье (1743—1794) и М. В. Ломоносова (1711—1765), открывших закон сохранения массы



Рис. 4. Алхимическая лаборатория

веществ, «химия была поставлена с головы на ноги» (Ф. Энгельс). Окончательно как наука химия оформилась в результате фундаментальных работ русских учёных: *Д. И. Менделеева* (1834—1907), открывшего Периодический закон и создавшего Периодическую систему химических элементов, *А. М. Бутлерова* (1828—1886), вместе с немецким химиком *Ф. А. Кекуле* (1829—1896) и шотландским учёным

А. С. Купером (1831—1892) разработавшего теорию химического строения органических соединений.

Дальнейшее развитие естественных наук привело исследователей к пониманию того, что всестороннее изучение природных явлений, свойств тел или веществ необходимо проводить с привлече-



Алхимия примером служит
Тому, как плутни с дурью дружат...
Сказал нам Аристотель вещей:
«Неизменяема суть вещи».
Алхимик же в учёном бреде
Выводит золото из меди...

С. Брант

нием знаний из разных научных областей. Появились пограничные естественно-научные дисциплины: физическая химия, биологическая физика, биологическая химия и т. п.

ПОЧЕМУ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ — ЦЕЛОСТНАЯ НАУКА. Выявление общих, присущих всем природным системам методологических идей: *эволюции* (развития) и *синергетики* (самоорганизации, приводящей к возникновению структур различной природы) — привело не только к интеграции естественно-научных знаний, но и к изменению статуса естествознания. Оно рассматривается как целостная наука, изучающая природу с единых позиций. Особенностью естествознания является поиск общих закономерностей природных явлений и их объяснение с использованием комплекса знаний и методов всех естественных наук.

Во всех явлениях, происходящих в природе, участвуют материальные объекты (объекты окружающего нас материального мира).

Материя — это объективная реальность, существующая независимо от нашего сознания и данная нам в ощущениях непосредственно с помощью органов чувств или с помощью приборов.

Таким образом, естествознание изучает явления, происходящие с объектами материального мира, и свойства этих объектов.

В любой цивилизованной стране с большим уважением относятся к развитию и становлению естественно-научных знаний, особенно связанных с историей этого государства, его природными богатствами, выдающимися учёными-естествоиспытателями, достижениями в области естествознания. В столице и крупных городах России и других



Рис. 5. Экспозиция Дарвиновского музея



Рис. 6. Экспозиция политехнического музея

стран работают музеи естествознания, научно-технические музеи и планетарии.

Наша страна может по праву гордиться крупнейшим в Европе естественно-научным музеем. Называется он Дарвиновский музей и находится в Москве (рис. 5). Этот музей недаром носит имя выдающегося английского натуралиста и путешественника, создателя теории эволюции Чарлза Дарвина. Экспозиция рассказывает об истории становления теории эволюции, разнообразии жизни на Земле, об изменчивости и наследственности, о естественном отборе и борьбе за существование в природе.

Политехнический музей в Москве — национальный музей истории науки и техники, один из крупнейших научно-технических музеев мира (рис. 6). Его первая экспозиция состояла из 9 разделов (физика, химия, архитектура и др.), связанных с прикладными науками. Сейчас в музее насчитывается 65 залов, в которых представлены самые различные области техники: горное дело, металлургия, метеорология, космонавтика и многие другие.



Как учёные получают знания о природе, как изучают материальный мир? На этот вопрос вы найдёте ответ в следующем параграфе учебника.

Вы знаете

- ▶ как зарождались естественно-научные представления
- ▶ что знали о природе люди каменного века
- ▶ как расширялись представления людей о природе в Древнем мире, в Средние века и до наших дней
- ▶ почему естествознание — целостная наука

Вы можете

- ▶ объяснить, почему люди начали изучать природу
- ▶ дать краткую характеристику представлений людей о природе от каменного века до наших дней
- ▶ рассказать об истории важнейших открытий в астрономии, физике, химии, биологии

Выполните задания

1. Для наскальных рисунков неандертальцы использовали минеральные вещества, содержащие оксид железа (III), оксид марганца (IV), мел (карбонат кальция), уголь (углерод). Запишите химические формулы этих веществ.
2. Расскажите, к каким классам неорганических соединений относятся перечисленные в предыдущем вопросе вещества. Какое из этих веществ является простым, какие — сложными?
3. Проиллюстрируйте примерами взаимосвязь физических, химических и биологических явлений в природе.
4. Приведите известные вам формулировки закона сохранения материи (вещества). Кто авторы этих формулировок? В чём особенность каждой из них?
5. Есть ли в вашем городе естественно-научный или политехнический музей? Посетите его и сделайте сообщение о том, как развитие естествознания отражено в его экспозиции. Если такого музея поблизости нет, используйте особенности экспозиции краеведческого музея.

Темы для рефератов

1. История физики. 2. История биологии. 3. История химии. 4. История астрономии. 5. История географии. 6. Вклад российских учёных в развитие естественных наук.

§ 2. Эмпирический уровень научного познания

1. Назовите имена учёных — физиков, химиков, биологов, астрономов, которые в процессе собственных наблюдений сделали великие открытия в науке.
2. Приведите примеры, когда наблюдательность и интуиция учёных приводили к изобретениям и открытиям.
3. Объясните, какую роль в истории науки играл эксперимент. Приведите примеры законов физики, химии, биологии, которые были открыты с помощью этого метода.

ЧТО ВКЛЮЧАЕТ В СЕБЯ НАУЧНЫЙ МЕТОД ПОЗНАНИЯ. В изучении природы большое значение имеет *научный метод познания*. Он включает в себя наблюдение, создание модели изучаемого явления, выдвижение гипотезы о законах, управляющих поведением модели, проведение эксперимента, который должен подтвердить или опровергнуть гипотезу.

В науке различают **эмпирический** и **теоретический** уровни познания (исследования). На эмпирическом уровне познания происходит накопление научных фактов путём наблюдений и экспериментов. На теоретическом уровне происходит осмысление полученных экспериментальных фактов, разработка и обоснование гипотез, подтверждение или опровержение выдвинутых гипотез, выявление закономерностей, формулирование законов, построение теории. Например, проведение многочисленных опытов по взвешиванию исходных веществ до химической реакции и полученных в результате неё продуктов (эмпирический уровень познания) позволило М. В. Ломоносову в 1748 г. открыть, а французскому физику А. Л. Лавуазье в 1789 г. в общем виде сформулировать **закон сохранения массы веществ** (теоретический уровень познания).

Масса веществ, вступивших в химическую реакцию, равна массе веществ, образующихся в результате реакции.

Вспомните, как формулируется в физике закон сохранения массы. Какая формулировка является более общей?

Ценность конечного результата научного познания определяется его предсказательной силой. Например, на основе сформулированного Периодического закона Д. И. Менделеев предсказал существование, пути открытия и свойства ещё неизвестных науке химических элементов — галлия, скандия и германия.

Каждый уровень познания использует свои методы. Так, для получения научных фактов применяют *наблюдение* и *эксперимент*, которые являются основными методами эмпирического исследования. При выдвижении гипотез и построении теории используют *моделирование* и *мысленный эксперимент*.

НАУЧНОЕ НАБЛЮДЕНИЕ КАК МЕТОД ЭМПИРИЧЕСКОГО УРОВНЯ ПОЗНАНИЯ. Наблюдательность — одно из замечательных качеств, присущее многим людям. Настоящий учёный должен в совершенстве владеть методом наблюдения, уметь отмечать общие и особенные черты тех явлений, которые являются предметом его изучения. Особую роль наблюдение играет при изучении естественных наук, поскольку именно этот метод позволяет получать основные знания о природе.

Наблюдение — это целенаправленный процесс восприятия объектов действительности для выявления их существенных свойств.

Наблюдение позволяет накапливать информацию об окружающем мире, систематизировать её. Однако самое главное, ради чего проводят наблюдение, — это поиск закономерностей в полученной из наблюдений информации.

Наблюдение как метод научного познания будет плодотворным, если наблюдатель очертит себе круг задач, которые станет последовательно выполнять. Сначала нужно определить *предмет наблюдения* — конкретный объект, его свойства, то или иное изменение, происходящее с ним в зависимости от условий окружающей среды, и т. д. Затем необходимо сформулировать *цель наблюдения* и составить план действий, которые помогут это наблюдение осуществить. Результатом наблюдений являются научные факты, составляющие эмпирический базис науки.

Наблюдатель не вмешивается в естественный ход процесса. Наблюдение может происходить в природных условиях. А предметом наблюдения могут быть различные природные явления: астрономические (движение небесных тел), биологические (рост, развитие, поведение организмов), химические (протекание химических реакций) или физические (радуга, полярное сияние, земной магнетизм).

Наблюдение может быть **непосредственным** или **опосредованным**. В первом случае те или иные свойства тел или явления воспринимаются непосредственно органами чувств. Во втором случае наблюдение проводится с использованием приборов: звёздное небо наблюдают с помощью телескопов, микроорганизмы — с помощью оптических микроскопов, группы атомов и отдельные атомы — с помощью сканирующих микроскопов.

В процессе наблюдения складываются представления о материальном мире, о происходящих в нём явлениях и о свойствах объектов ма-

териального мира. Так, наблюдая за падением тел, Галилей пытался найти закономерности этого движения.

ЭКСПЕРИМЕНТ КАК МЕТОД ЭМПИРИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ. Чаще всего научное наблюдение проводится в специально созданных условиях, причём условия эксперимента можно изменять по желанию наблюдателя. Нередко наблюдение проводится в специальном помещении — лаборатории.

Эксперимент — это метод познания, который используется для исследования объектов и явлений в специально созданных для этого условиях.

В переводе с латинского «эксперимент» означает «опыт, проба». С помощью эксперимента можно подтвердить или опровергнуть ту гипотезу, которая выдвигалась до наблюдения или родилась в результате него. Так формулируется *вывод*.

Эксперимент отличается от наблюдения вмешательством в исследуемый процесс, воздействием на него, при этом наблюдение может являться частью эксперимента.

В зависимости от поставленных задач эксперимент может быть исследовательским или проверочным.

Целью **исследовательского эксперимента** является выявление различных закономерностей, свойств объектов, зависимостей между величинами. Такими были опыты Кулона с крутильными весами (итог: открытие закона взаимодействия покоящихся электрических зарядов), опыт Ома, установивший зависимость между силой тока и напряжением в проводнике. Изучая изменения признаков растений, Мендель сформулировал законы, объясняющие механизм наследования (рис. 7). Эксперименты *Н. Н. Бекетова* (1827—1911) по вытеснению одних металлов другими из растворов солей тоже являлись исследовательскими. В результате этих экспериментов был составлен вытеснительный ряд металлов (ряд активности металлов).

Особое место занимают **фундаментальные эксперименты**, благодаря которым появлялись новые научные теории. К фундаментальным экспериментам относятся опыты Ампера по взаимодействию проводников с током, опыт *Х. К. Эрстеда* (1777—1851) по взаимодействию проводника с током и магнитной стрелки, опыты Фарадея по электромагнит-



Андре Мари Ампер

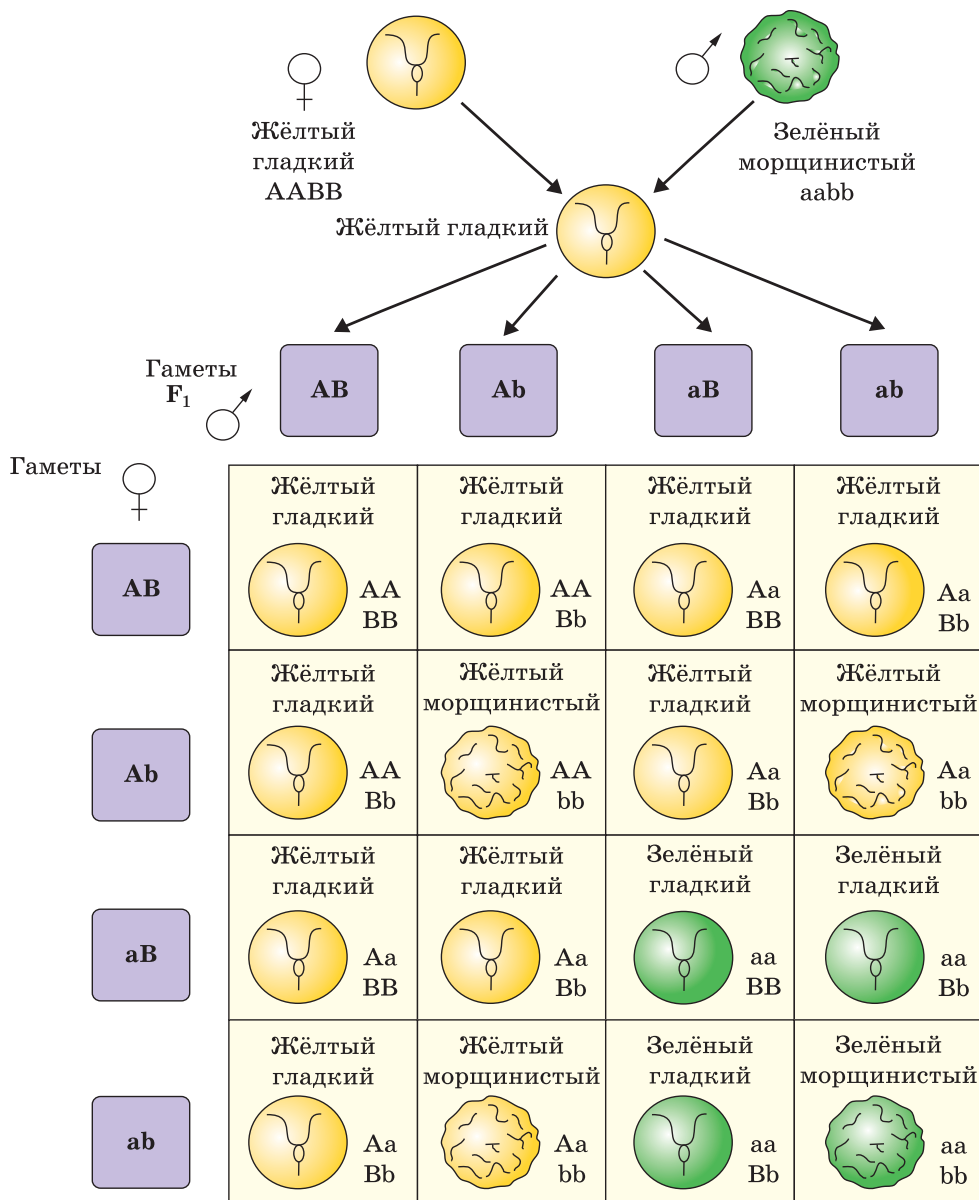


Рис. 7. Эксперимент Менделя с горохом — схема наследования при дигибридном скрещивании

ной индукции, послужившие эмпирической основой электродинамики и положившие начало становлению электродинамики как физической теории.

Желание объяснить причину наблюдаемого явления, найти закономерности, которым оно подчиняется, побуждает учёных выдвигать

предположения о природе явления, о его причинах или о законах, по которым оно происходит, — **гипотезы**.

В переводе с греческого «гипотеза» означает «предположение». Для проверки гипотезы исследователь проводит эксперимент. Если эксперимент подтверждает гипотезу, то она принимается, если нет — она считается ложной и отбрасывается. В любом случае эксперимент является критерием истинности исходного знания.

Примером **проверочного эксперимента** могут служить опыты, доказавшие неправомерность представлений о мировом эфире. Гипотеза о существовании особой всепроникающей среды, заполняющей пустоты между атомами и ответственной за распространение света, появилась ещё в античные времена и была сформулирована в 1618 г. *Р. Декартом* (1596—1650). В дальнейшем она совершенствовалась, достигнув своего апогея к концу XIX в. Тогда предполагали, что эфир увлекается движущимися телами. Например, при движении Земли сквозь эфир возникает эфирный ветер. Если это так, то скорость света должна зависеть от скорости движения Земли и направления распространения света. Результаты опытов *А. А. Майкельсона* (1852—1931) и *Э. У. Морли* (1839—1923) в 1887 г. показали, что скорость света от этих факторов не зависит. Так, эксперимент учёных, изначально ставившийся с целью подтвердить гипотезу о существовании мирового эфира, опроверг её.

С другой стороны, ни одно знание не может считаться истинным до тех пор, пока оно не будет подтверждено соответствующими экспериментальными данными и не найдёт своего практического применения. Опыты Румфорда по сверлению пушечных стволов (1798) заставили учёных усомниться в существовании теплорода.

Таким образом, эксперимент является источником знаний и критерием их истинности.

Великий *Леонардо да Винчи* (1452—1519) говорил, что науки, которые не родились из эксперимента, этой основы всех познаний, бесполезны и полны заблуждений.

О сколько нам открытий чудных
Готовят просвещенья дух
И опыт, сын ошибок трудных,
И гений, парадоксов друг,
И случай, бог изобретатель.

А. Пушкин



МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК НАУЧНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ. Кроме наблюдения и эксперимента в познании окружающего мира, большую роль играет **моделирование**.

Мы уже говорили, что одна из главных целей наблюдения — поиск закономерностей в результатах экспериментов. Однако некоторые наблюдения неудобно или невозможно проводить непосредственно в природе, тогда используют *модель*. В моделях копируются только самые

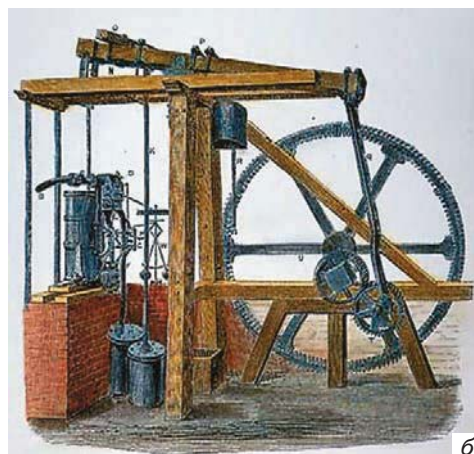


Рис. 8. Географическая модель — глобус (а); физическая модель паровой машины Дж. Уатта (б)

важные признаки и свойства объекта и опускаются не существенные для изучения детали.

Моделирование — это метод научного познания, заключающийся в создании и исследовании моделей реальных объектов.

Каждая естественная наука использует свои **материальные модели**, которые помогают зримо представить себе реальное природное явление или объект.

Самая известная географическая материальная модель — это глобус (рис. 8, а).

На уроках физики вы уже знакомились с самыми разными материальными моделями, которые помогали вам изучать электрические и магнитные явления, закономерности движения тел, оптические явления, устройства различных механизмов (рис. 8, б).

При изучении биологии также широко используются материальные модели. Достаточно упомянуть, например, модели и биологические



Рис. 9. Биологические модели: глаза (а), головного мозга (б), скелетно-мышечной системы и внутренних органов (в)

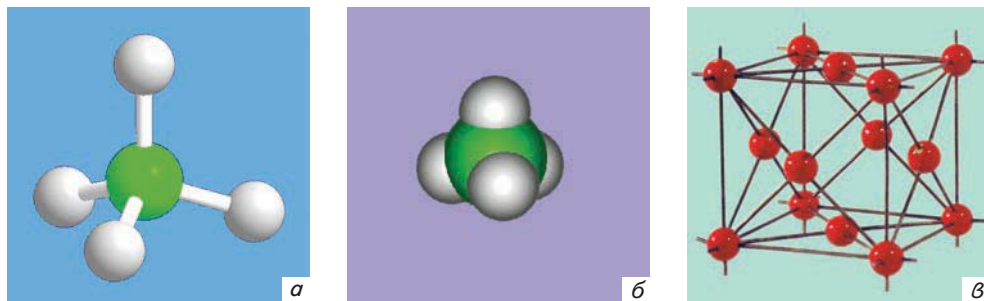


Рис. 10. Химические модели: шаростержневая (а) и объёмная (б) модели молекулы метана; модель кристалла меди (в)

муляжи основных частей цветка, органов человека (рис. 9), скелетов животных и т. д.

Не менее важно использование материальных моделей и в химии. Для большей наглядности химики используют модели атомов, молекул, кристаллов, установок и аппаратов химических производств. Структуру молекул химических веществ демонстрируют на шаростержневых или объёмных моделях. Их собирают из шариков, символизирующих отдельные атомы. В шаростержневых моделях «атомы»-шарики расположены друг от друга на некотором расстоянии и скреплены между собой стерженьками. Объёмные модели более точно передают соотношение между размерами атомов и расстоянием между ними в молекуле. Шаростержневая и объёмная модели молекул газа метана CH_4 , являющегося основным компонентом природного и бытового газа, показаны на рисунке 10, а, б. Модели кристаллов напоминают шаростержневые модели молекул, однако изображают не отдельные молекулы вещества, а показывают взаимное расположение частиц вещества в кристаллическом состоянии (рис. 10, в).



Ещё один тип моделей — символьные (знаковые) модели скорее относится к другому уровню научного познания — теоретическому, о котором пойдёт речь в следующем параграфе.

Вы знаете

- ▶ что общего и чем различаются наблюдение и эксперимент
- ▶ какова роль наблюдения и эксперимента в научном познании

Вы можете

- ▶ охарактеризовать уровень научного познания и проиллюстрировать его конкретными примерами
- ▶ объяснить, для чего выдвигаются гипотезы и зачем применяют материальные модели в естественных науках

Выполните задания

1. Приведите пример из вашей жизни, когда на основании наблюдений вы приходили к какому-либо выводу. Доводилось ли вам проводить какие-либо естественно-научные эксперименты дома, на садовом участке и т. д.?
2. Назовите фундаментальные эксперименты XIX — начала XX в., которые заложили основу теории строения атома. Какие модели строения атома вы знаете из курса основной школы?
3. Сформулируйте, в чём состоит сущность естественно-научной теории витализма, господствовавшей в химии вплоть до середины XIX в. Открытия каких учёных привели к краху теории витализма, в чём заключалась идея их опытов? Для ответа на эти вопросы используйте возможности Интернета.
4. Изготовьте из пластилина шаростержневые и объёмные модели молекул водорода, воды, аммиака и метана. Какие характеристики молекул они отражают? Как состав этих веществ можно отразить с помощью знаковых моделей?

Темы для рефератов

1. Теория витализма и её крах.
2. Роль естественно-научных знаний в моей будущей профессиональной деятельности.

§ 3. Теоретический уровень научного познания

1. Подготовьте рассказ о развитии математики в древних Вавилоне, Александрии, Индии, Персии, Средней Азии.
2. Приведите примеры различных моделей из области отдельных естественных наук.

МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ТЕОРЕТИЧЕСКОМ УРОВНЕ ПОЗНАНИЯ. Как вы узнали из предыдущего параграфа, на эмпирическом уровне познания после накопления экспериментальных фактов выдвигается гипотеза, которая проверяется с помощью эксперимента.

На теоретическом уровне познания происходит осмысление экспериментальных данных, разработка и обоснование гипотез, построение теории. В этом случае учёный строит идеальную модель объекта или

явления, выдвигает гипотезу, выполняет теоретическое исследование модели (мысленный эксперимент с моделью) и проводит реальный эксперимент для подтверждения справедливости гипотезы.

Идеальная модель — это мысленно представляемая система, которая отражает особенности и свойства реального объекта, явления или процесса, изучение которой даёт новую информацию об этом объекте, явлении, процессе.

Основными методами познания на теоретическом уровне являются **моделирование** и **мысленный эксперимент**.

В основе всех физических теорий и законов лежат идеальные модели объектов. Например, классическая механика Ньютона построена для модели «материальная точка». Законы изменения параметров состояния газа (давления, объёма и температуры) записаны для модели «**идеальный газ**», т. е. для такого газа, размерами молекул которого и их взаимодействием можно пренебречь.

» **Напомним**, что *материальная точка* — это тело, размерами которого можно пренебречь в условиях конкретной задачи.

В процессе накопления знаний и совершенствования экспериментальной базы происходит усложнение моделей. Например, если сначала было записано уравнение, связывающее параметры состояния идеального газа, то позже в это уравнение ввели поправки, учитывающие размеры молекул и их взаимодействие, и пришли к уравнению, описывающему поведение более сложной модели — «**реальный газ**».

Развитие представлений о строении атома также сопровождалось усложнением создаваемых моделей. Первой моделью атома принято считать модель *Дж. Дж. Томсона* (1903). Согласно этой модели, атом представлялся в виде шара с равномерно распределённым по всему объёму положительным зарядом и вкраплёнными в него отрицательно заряженными электронами (рис. 11, а). Эта модель объясняла известные в то время явления проводимости и электризации.

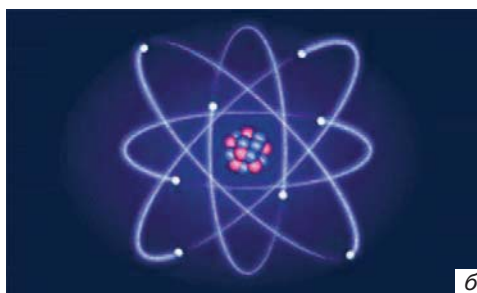
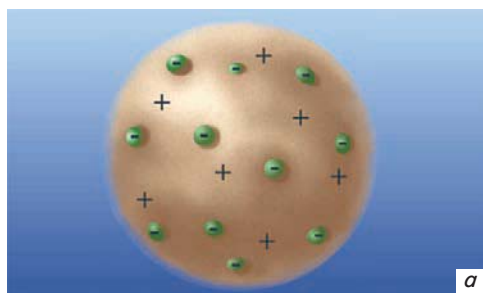


Рис. 11. Модели атомов: а — Томсона; б — Резерфорда

Однако после того, как Э. Резерфорд провёл опыты по облучению тонкой металлической фольги α -частицами, появилась необходимость в более сложной модели атома. Модель атома Резерфорда получила название **планетарной**. В этой модели в центре атома находится положительно заряженное ядро, а вокруг него вращаются отрицательно заряженные электроны (рис. 11, б). Эта модель, объясняя ряд электрических явлений, не позволяла понять причину устойчивости атома. Ведь при движении заряженные частицы — электроны — должны излучать энергию и рано или поздно упасть на ядро. В этом случае атом прекратил бы своё существование. Однако ничего подобного не происходит.

Модель Резерфорда была усовершенствована датским физиком Н. Бором. В соответствии с теорией Бора электроны, находясь в атоме на стационарных орбитах, не излучают и не поглощают энергию. Энергия электрона меняется при переходе с одной орбиты на другую. При этом переход электрона на более высокий энергетический уровень сопровождается поглощением атомом фотона, а переход из состояния с большей энергией в состояние с меньшей энергией — излучением фотона. С помощью такой модели стало возможно объяснить устойчивость атомов, она достаточно хорошо описывает строение атома водорода, но с помощью неё нельзя объяснить строение более сложных атомов.

На примере создания моделей атома мы видим, что с развитием науки выявляется ограниченность той или иной идеальной модели, в результате модель развивается и совершенствуется.

В ряде случаев используют **модели-анalogии**. Аналогия позволяет на основе установленного сходства одних свойств объектов делать выводы о сходстве других их свойств. Например, нидерландский учёный Х. Гюйгенс (1629—1695), выявив общие свойства звука и света, такие как отражение, преломление, интерференция, дифракция, пришёл к выводу, что свет имеет волновую природу. В этом случае звуковые волны служили моделью-анalogией для световых волн. Механические колебания могут служить моделью-анalogией электромагнитных колебаний. Установив сходство уравнений, описывающих механические и электромагнитные колебания, можно провести аналогии между

» **Напомним, что**

T — период колебаний,

m — масса,

k — жёсткость пружины,

L — индуктивность катушки,

C — ёмкость конденсатора.

физическими величинами механики и электродинамики, описывающими колебания. Из формулы периода колебаний пружинного маятника: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ можно получить формулу периода электромагнитных колебаний: $T = 2\pi\sqrt{LC}$.

МЫСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ. Теоретическое исследование модели позволяет переходить от реальных объектов и процессов к идеальным

моделям, действие с которыми даёт возможность получить результаты, применимые к реальным объектам.

Мысленный эксперимент — это познавательный процесс, воссоздающий ситуацию реального эксперимента и осуществляемый с помощью идеальной модели.

Впервые термин «мысленный эксперимент» ввёл в науку *Эрнст Мах* (1836—1916), австрийский физик и философ. Он говорил, что каждый человек может мысленно создать ту или иную ситуацию, выполнить определённые умственные действия и получить результат, который будет соответствовать результату в реальной жизни.

В эпоху Античности учёные придерживались мнения, что не реальные эксперименты, а именно мысленные являются единственно верными методами познания окружающего мира. Например, *Герон Александрийский* (I в. до н. э. или I в.) описал много различных изобретённых им паровых и водяных устройств и автоматов — пневматические двери, пожарный насос, водяной орган, термоскоп, сифон, прообраз паровой турбины и т. п. (рис. 12). Но всё это он только описал, ничего не сделав на практике.

Галилей применял мысленное экспериментирование при изучении законов движения. Изучая свободное падение, Галилей описал следующий мысленный эксперимент. Предположим, что у нас есть пушечное ядро и мушкетная пуля. Если считать, что тяжёлые тела падают быстрее лёгких, то ядро должно падать с большей скоростью, а мушкетная пуля — с меньшей. При падении соединённых вместе пули и ядра более тяжёлое тело должно ускорять менее тяжёлое, а менее тя-

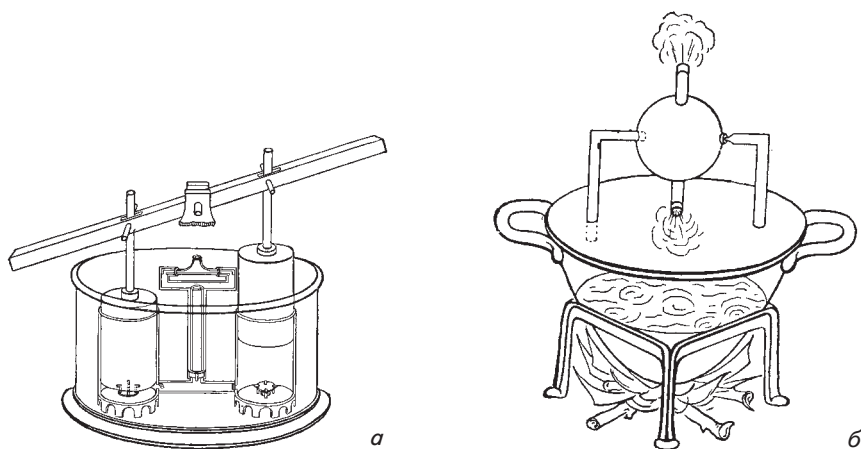


Рис. 12. Устройства Герона Александрийского (реконструкция):
а — пожарный насос; б — паровая машина

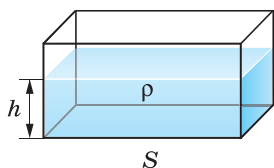


Рис. 13. Ёмкость для мысленного эксперимента по расчёту давления жидкости на дно сосуда

жёлое замедлять более тяжёлое. Получается, что у нового тела скорость должна равняться среднему арифметическому скоростей ядра и пули и новое тело должно падать со скоростью меньшей, чем скорость одной из его составных частей. Таким образом, возникает противоречие, из которого можно сделать вывод, что все тела падают с одинаковой скоростью.

В современной науке мысленный эксперимент используется при изучении явлений, происходящих с микрообъектами, недоступными непосредственному наблюдению.

Рассмотрим в качестве примера следующий мысленный эксперимент, который вы проводили на уроках физики при изучении гидростатического давления. Пусть в некоем сосуде находится жидкость плотностью ρ , высота столба жидкости — h . Необходимо получить формулу для расчёта давления жидкости на дно сосуда, площадь которого S . Выполним мысленный эксперимент: установим зависимость давления жидкости на дно сосуда от высоты её столба и от её плотности. Построим модель объекта при условии, что жидкость несжимаема (т. е. её плотность не зависит от высоты столба и является постоянной величиной) и что на столь малой высоте, как высота столба жидкости, ускорение свободного падения не изменяется. Для удобства вычислений возьмём сосуд правильной формы в виде прямоугольного параллелепипеда (рис. 13).

Действия, которые мы совершили при моделировании, называются абстрагированием. Мы отвлеклись от несущественных свойств объекта исследования, т. е. не будем их учитывать при анализе модели.

Далее выведем формулу: давление p по определению равно $p = \frac{F}{S}$, где F — сила, действующая на дно сосуда со стороны жидкости, равная весу жидкости, S — площадь дна сосуда. Вес покоящейся жидкости равен: $F = mg$; масса жидкости $m = \rho V$, где V — объём жидкости, а ρ — плотность. Следовательно, $F = \rho Vg$. Подставив это выражение в формулу давления, получаем: $p = \frac{\rho Vg}{S} = \rho gh$.

Мы построили идеальную модель реального объекта, определили идеализированные условия функционирования модели, применили известные в науке зависимости между величинами и получили искомый результат.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. В современных научных исследованиях всё шире применяют математическое моделирование.

Математическое моделирование — это замена исходного объекта его математической моделью и дальнейшее изучение её с помощью математических методов, в том числе с использованием компьютера.

Характер и роль математического моделирования менялись по мере развития математики.

Математическое моделирование применяли ещё в Древнем мире в физике и астрономии, когда появились понятия числа и фигуры, которые являлись знаковыми моделями реальных объектов. В дальнейшем с развитием математики математические модели применялись при описании эмпирически установленных зависимостей.

В XVII в. благодаря работам Ньютона и появлению дифференциального и интегрального исчисления стало возможным строить более сложные математические модели.

Систему знаний о Земле, построенную на основе законов математики и физики, в противовес представлению о географии как об описательной науке построил в XVII в. *Б. Варениус* (1622—1650?). С этого времени математика стала применяться не только для измерений, но и для выведения формул, отражающих процессы взаимодействия между разными природными телами. Сторонником внедрения математического моделирования в физическую географию и геологию был и М. В. Ломоносов, применивший его для количественной оценки атмосферных явлений.

До XIX в. математическое моделирование заключалось в создании математического описания природных явлений в виде формул и уравнений, которые использовались для выполнения необходимых расчётов. Позже математические модели, построенные с учётом характера физических явлений, позволили строить предположения о свойствах процессов и делать выводы. Так, в середине XIX в. Максвелл, изучая электромагнитные явления, разработал теорию, объясняющую эти явления. Рассматривая электромагнитное взаимодействие, он ввёл геометрическую модель сил в виде силовых линий электрического поля. Математика позволила ему предсказать существование радиоволн и их свойства, построить теорию электромагнитного поля.

В XIX в. широкое применение получили физико-математические методы изучения



Л. С. Миропольский.
Портрет Михаила
Васильевича Ломоносова.
1787 г.

климата и магнитного поля Земли, образования и развития земной материи.

Роль математики и математического моделирования ещё больше возрастает в современной физике (в теории относительности, квантовой механике, физике элементарных частиц). Это связано с тем, что современная физика имеет дело с объектами, недоступными для непосредственного наблюдения и делающими невозможным построение наглядной модели. Поэтому без применения математики невозможно глубокое понимание свойств объектов микромира.

В настоящее время математика активно используется и в химии. Классические модели химических процессов — это уравнения реакций. Современная квантовая химия — яркий пример применения современной математики в химии, так как она позволяет объяснить природу атомов химических элементов и предсказать поведение образующих ими веществ в химических реакциях.

В физике и химии математическое моделирование применяется уже давно, теперь же оно широко используется и в биологии, геологии, экологии, географии. Например, при исследованиях динамики популяций, при мониторинге состояния окружающей среды, моделировании экосистем, геоклиматическом прогнозировании, прогнозировании природных катаклизмов (землетрясений, цунами и т. п.) и изменений геологического состояния окружающей среды.

Таким образом, математическое моделирование при исследовании физических, биологических, химических, географических и других объектов и явлений природы предполагает выделение общих понятий, создание и исследование моделей, выяснение фундаментальных принципов, лежащих в основе изучаемых систем.



Процесс научного познания предполагает, что человек должен свободно владеть терминологией, которая является языком науки. Вот об этом и пойдёт речь в следующем параграфе.

Вы знаете

- ▶ что такое теоретическое познание и какую роль в нём играют теоретическое моделирование, мысленный эксперимент и математическое моделирование

Вы можете

- ▶ обосновать значимость мысленного эксперимента для развития науки и проиллюстрировать это работами учёных-естествоиспытателей
- ▶ привести примеры математического моделирования в физике, химии, биологии, географии

Выполните задания

1. Сравните эмпирический и теоретический уровни познания.
2. Приведите примеры идеальных моделей.
3. Вспомните из курса химии, что такое изотопы, запишите символы природных изотопов водорода и кислорода, составьте формулы воды, образованной каждым из изотопов водорода и кислорода. Сможете ли вы предложить математическую формулу для расчёта числа возможных вариантов молекул, зная число изотопов каждого элемента?
4. Прочитайте притчу Ф. Кривина «Ньютоново яблоко»:

«— Послушайте, Ньютон, как вы сделали это своё открытие, о котором теперь столько разговору?

— Сам не знаю как... Просто стукнуло в голову...

— Яблоко стукнуло? А ведь признайтесь, это яблоко было из моего сада...

Они стояли каждый в своём дворе и переговаривались через забор, по-соседски <...>.

На другой день, когда Ньютон пришёл на своё излюбленное место, ветка была спилена. За забором под своей яблоней сидел сосед.

— Отдыхаете? — кивнул соседу Ньютон.

— Угу...

Так сидели они каждый день — Ньютон и сосед за забором. Ветки не было, солнце обжигало Ньютону голову, и ему ничего не оставалось, как заняться изучением световых явлений».

Объясните, о каких открытиях Ньютона говорится в притче, какое из них имеет характер эмпирического обобщения, а какое — математического моделирования.
5. «От живого созерцания к абстрактному мышлению и от него к практике — таков диалектический путь познания истины...» (В. И. Ленин). Проиллюстрируйте эту модель познания примерами из различных областей естественных наук — физики, химии, биологии, экологии, астрономии, физической географии.

Темы для рефератов

1. Совершенствование математического моделирования в результате развития вычислительной техники.
2. Мысленный эксперимент и математическое моделирование философов и учёных Древней Греции и Древнего Востока.
3. Модели строения атома — предшественники модели атома Томсона.

§ 4. Язык естествознания

1. Вспомните фамилии выдающихся учёных, в честь которых были названы химические элементы, физические величины, растения.
2. Обоснуйте, для чего врачам, географам, биологам, химикам, физикам нужна своя терминология.
3. Докажите, что язык естественных наук вам уже знаком, и приведите примеры терминов из биологии, химии, физики, географии.

ЯЗЫК НАУКИ — СПОСОБ ОБМЕНА ЗНАНИЯМИ. Шведский естествоиспытатель и врач К. Линней сказал: *«Если не знаешь названий, теряется и познание вещей»*. Высказывание великого Линнея можно перефразировать так: «Если ты не владеешь основными терминами естествознания, ты не можешь считать себя культурным человеком». В процессе научного познания складывается особый язык — научная терминология. Несомненно, он необходим для информационного обмена, взаимодействия специалистов различных стран, для однозначности обозначения одних и тех же объектов, явлений, величин. Любому человеку, в какой бы профессиональной сфере он ни трудился, необходимо корректно использовать естественно-научную терминологию. Это так же необходимо, как соблюдение норм и правил правописания в любом тексте независимо от того, художественное это произведение, резюме, бизнес-план, приказ по организации или рекламный плакат (рис. 14).

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ТЕРМИНОЛОГИЯ И ЕЁ ОСОБЕННОСТИ. Терминологический аппарат естествознания — это сочетание «языков» отдель-



Рис. 14. Химические «ляпы» на вывесках и этикетках товаров

ных естественно-научных дисциплин. В **биологии** система научных названий составляется по биномиальной (бинарной) биологической номенклатуре. Она используется в ботанике, зоологии, микологии (науке о грибах) и микробиологии (науке о микроорганизмах) для обозначения групп организмов, связанных той или иной степенью родства, — таксонов. Название представляет собой словосочетание на латинском языке: имени рода и имени вида (согласно терминологии, принятой в зоологической номенклатуре, например: *Homo sapiens*, или *Человек разумный*) либо имени рода и видового эпитета (согласно ботанической терминологии, например: *Ranunculus acer*, или *Лютик едкий*).

Имя рода всегда пишется с большой буквы, имя вида (видовой эпитет) — всегда с маленькой (даже если происходит от имени собственного). В тексте бинарное название, как правило, пишется курсивом. Например, в научных кругах замечательную бабочку махаон (рис. 15, а) называют *Papilio machaon*, а шиповник (рис. 15, б) — *Rosa canina* (роза собачья).

Воспользуемся возможностью и повторим основные систематические группы (таксоны), принятые в биологии, на примере бурого медведя, которого нередко считают символом России.

Царство	Животные	<i>Animalia</i>
Тип	Хордовые	<i>Chordata</i>
Класс	Млекопитающие	<i>Mammalia</i>
Отряд	Хищные	<i>Carnivora</i>
Семейство	Медвежьи	<i>Ursidae</i>
Род	Медведи	<i>Ursus</i>
Вид	Бурый медведь	<i>Ursus arctos</i>

Основу не только биологической номенклатуры, но и медицинской терминологии (анатомической, фармацевтической и др.) составляют



а



б

Рис. 15. Примеры биологических объектов:
а — бабочка махаон; б — шиповник обыкновенный

латинские названия, которые пишутся и подчиняются правилам латинской грамматики. Однако для каждой отдельной отрасли медицинской науки, например анатомии, существуют свои номенклатуры. За анатомической номенклатурой строго следят созданные во многих странах национальные комитеты. Начало анатомической номенклатуре было положено в 1895 г. в Базеле, когда собравшиеся там из разных стран анатомы из более чем 50 000 неупорядоченных названий сумели выбрать для употребления 5600. В 1905 г. на IV конгрессе анатомов в Париже были утверждены 5640 терминов, которыми надлежало пользоваться медицинским работникам всего мира.

ТЕРМИНОЛОГИЯ В ХИМИИ И ЕЁ ОСОБЕННОСТИ. Латинские корни, равно как и греческие, лежат в основе названий химических элементов и химических веществ.

Как известно, наука о происхождении слов называется *этимологией*. В основе названий химических элементов лежат пять этимологических начал.

В названиях одних химических элементов отражены их важнейшие свойства. Например, водород *Hydrogenium* означает «рождающий воду»; кислород *Oxygenium* — «рождающий кислоты»; фосфор *Phosphorus* — «несущий свет».

Другие элементы названы в честь небесных тел или планет Солнечной системы: селен (*Selena* — Луна), теллур (*Telluris* — Земля), уран (*Uranus* — Уран) и др.

Названия некоторых элементов заимствованы из древнегреческой мифологии: тантал, прометий, титан (это имена царей, героев, богов).

Отдельные элементы названы в честь учёных: менделевий, кюри, эйнштейний, резерфордий и др.

И наконец, часть названий элементов имеют географические корни: рутений (*Ruthenia* — латинское название России), лютеций (*Lutetia* — латинское название Парижа), франций, германий и т. д. Элемент № 116 назван *ливорморием* (Lv) в честь Ливерморской национальной лаборатории им. Э. Лоуренса, расположенной в г. Ливермор (США). Сотрудники этой лаборатории ядерных реакций участвовали в открытии 116-го элемента вместе с российскими учёными Объединённого института ядерных исследований в г. Дубна.

Названия химических соединений образуются в соответствии с международной номенклатурой, основы которой вы изучали в курсе химии основной школы.

Общую схему образования названия оксидов и гидроксидов можно представить следующим образом:

название класса (оксид, гидроксид) + название элемента в родительном падеже (+ степень окисления элемента, если она переменная).

Например: оксид натрия — Na_2O , оксид алюминия — Al_2O_3 , оксид фосфора (V) — P_2O_5 , гидроксид натрия — NaOH , гидроксид железа (II) — $\text{Fe}(\text{OH})_2$, гидроксид железа (III) — $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Очевидно, вы заметили, что химия «говорит» названиями веществ, а «пишет» — формулами. Это тоже язык химии, только язык формул и химических уравнений.

Названия неорганических веществ, относящихся к классу солей, составляются также из двух слов:

латинское название аниона кислотного остатка + название катиона в родительном падеже (+ степень окисления катиона, если она переменная).

Например: хлорид натрия — NaCl , карбонат кальция — CaCO_3 , сульфат железа (II) — FeSO_4 , сульфат железа (III) — $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$.

СИСТЕМА ЕДИНИЦ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН. Многие понятия — термины естественно-научных дисциплин кроме качественной стороны (содержание, смысл понятия) характеризуются и количественно — через систему единиц. На XI Генеральной конференции по мерам и весам (Париж, 1960) учёные пришли к соглашению об использовании единой системы единиц физических величин. Как вы знаете, Международная система единиц носит сокращённое название — СИ (SI , *англ.* International System; *фр.* Le Systeme International d'Unités — Система Интернациональная). Некоторые последующие конференции внесли в СИ ряд изменений. Так, XIV Генеральная конференция 1971 г. внесла в СИ, в частности, единицу количества вещества — моль. Большинство стран мира приняли систему СИ в качестве основной, исключение пока составляют три государства — США, Либерия и Мьянма.

В СИ выбраны семь основных единиц (табл. 1) физических величин, остальные являются производными.

Основные единицы — это единицы, которые имеют независимую размерность, т. е. ни одна из основных единиц не может быть получена из других.

Таблица 1
ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В СИ

Величина	Название единицы		Обозначение единицы	
	русское	международное	русское	международное
Длина	метр	metre (meter)	м	m
Масса	килограмм	kilogram	кг	kg
Время	секунда	second	с	s

Величина	Название единицы		Обозначение единицы	
	русское	международное	русское	международное
Сила тока	ампер	ampere	А	А
Термодинамическая температура	кельвин	kelvin	К	К
Сила света	кандела	candela	кд	cd
Количество вещества	моль	mole	моль	mol

Производные единицы (табл. 2) — это единицы, которые получают из основных с помощью их умножения и деления.

Таблица 2
НЕКОТОРЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В СИ

Величина	Название единицы		Обозначение единицы		Выражение
	русское	международное	русское	международное	
Частота	герц	hertz	Гц	Hz	с^{-1}
Сила	ньютон	newton	Н	N	$\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-2}$
Энергия	джоуль	joule	Дж	J	$\text{Н} \cdot \text{м} = \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2}$
Мощность	ватт	watt	Вт	W	$\text{Дж}/\text{с} = \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3}$
Давление	паскаль	pascal	Па	Pa	$\text{Н}/\text{м}^2 = \text{кг} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$
Электрический заряд	кулон	coulomb	Кл	C	$\text{А} \cdot \text{с}$
Разность потенциалов	вольт	volt	В	V	$\text{Дж}/\text{Кл} = \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-1}$
Сопротивление	ом	ohm	Ом	Ω	$\text{В}/\text{А} = \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3} \cdot \text{А}^{-2}$

Имеются внесистемные единицы, например градус (температуры). СИ определяет также набор приставок (табл. 3), которые используют перед названиями единиц. Они означают, что единицу нужно уменьшить или увеличить на несколько порядков, т. е. в 10, 100 и т. д. раз.

ТАБЛИЦА 3
ПРИСТАВКИ ДЛЯ ДЕСЯТИЧНЫХ, ДОЛЬНЫХ И КРАТНЫХ ВЕЛИЧИН

Множитель	Приставка		Обозначение приставки	
	русская	международная	русское	международное
10^{12}	тера	tera	Т	T
10^9	гига	giga	Г	G
10^6	мега	mega	М	M
10^3	кило	kilo	к	k
10^{-1}	деци	deci	д	d
10^{-2}	санти	centi	с	c
10^{-3}	милли	milli	м	m
10^{-6}	микро	micro	мк	μ
10^{-9}	нано	nano	н	n
10^{-12}	пико	pico	п	p

Для измерения расстояний в астрономии вводят свои единицы.

Астрономическая единица (а. е.) — единица длины, которая практически равна среднему расстоянию между центрами Земли и Солнца. Используется при определении расстояний в Солнечной системе.

1 а. е. = 149 597 870 км. Для расчётов можно использовать её приближённое значение — 150 млн км: 1 а. е. = $1,5 \cdot 10^8$ км.

Световой год (св. год) — расстояние, на которое свет распространяется в вакууме за 1 год.

Скорость света равна 300 000 000 м/с. В году 365,25 суток = 8766 ч = 525 960 мин = $3,156 \cdot 10^7$ с. 1 световой год равен примерно $9,46 \cdot 10^{15}$ м, что составляет почти 9,5 трлн км.

Парсек (пк) — расстояние до объекта, годичный параллакс которого равен 1". Отсюда происходит и название — *параллакс секунда*.

1 пк = 3,26 св. года = 206 265 а. е. = $3,09 \cdot 10^{16}$ м.

Для наиболее далёких объектов приходится выражать расстояния в килопарсеках (кпк) и мегапарсеках (Мпк): 1 кпк = 10^3 пк, 1 Мпк = 10^6 пк.

..... ➡ О необходимости применения специальных терминов и понятий при освоении естественно-научных законов и теорий вы узнаете из следующего параграфа.

Вы знаете

- ▶ что язык науки — это способ информационного обмена знаниями
- ▶ как образуются названия в биологии и химии
- ▶ что представляет собой Международная система единиц физических величин

Вы можете

- ▶ сформулировать, что такое язык науки
- ▶ объяснить необходимость введения единой Международной системы физических единиц

Выполните задания

1. Найдите ошибки в следующих фразах, взятых из литературных произведений и средств массовой информации:
 - а) «Производители должны указывать на каждой бутылке спиртного информацию о содержании вредных веществ. Например, так: «Этанол — 0,03%, этиловый спирт — 40%...» и так далее — вся таблица Менделеева» (из газеты «Комсомольская правда»);
 - б) «Он питался только лебедью, собирая горький злак на полях» (А. Ладинский. «Последний путь Владимира Мономаха»);
 - в) «Тяжёлая, обитая конской шкурой, дверь юрты приподнялась в наклонной стене; со двора хлынула волна пара...» (В. Короленко. «Соколик»);
 - г) «По словам учёных, в отличие от Земли, где доля диоксида углерода в атмосфере не превышает 0,04%, в атмосферах Марса и Венеры его гораздо больше — около 95%. Обнаруженный же элемент, скорее всего, является изотопом диоксида углерода. Напомним, что изотопы — это те же химические элементы, однако у изотопов отличается количество нейтронов в ядрах молекул, количество же электронов там одинаково».
2. Разделите формулы следующих веществ на три класса — оксиды, основания, соли — и дайте каждому соединению название: CuO , KOH , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, CO_2 , FeCl_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Cu}(\text{OH})_2$, SO_3 , Na_2CO_3 .
3. Запишите систематику шиповника с указанием каждой таксонометрической группы на русском и латинском языках (используйте ресурсы Интернета).
4. Приведите примеры стилистических ошибок, которые допускали вы или ваши одноклассники при неверном использовании языка физики, химии, биологии.

1. Знания по морфологии и этимологии — основа в освоении предметных языков естественно-научных дисциплин. 2. Значение латинского и греческого языков в формировании языка науки. 3. Международная система единиц.

§ 5. Естественно-научные понятия, законы и теории

1. Приведите примеры физических, химических, биологических законов.
2. Сформулируйте основные положения клеточной теории, с которой вы знакомились при изучении биологии.

ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ ПОНЯТИЯ. Естественные науки используют особую систему предметных понятий. Например, в физике используются такие понятия, как сила, броуновское движение, вакуум, гигроскопичность, гравитация, динамика, скорость, ускорение и т. д. Химия использует свою терминологию: химический элемент, химическая реакция, химическая связь и др. Биологи говорят на своём языке, используя понятия: вид, популяция, наследственность, изменчивость, ген, клетка, бактерия, вирус. Некоторые понятия являются универсальными для естественных наук и используются в каждом предметном языке, например: атом, молекула, реакция, температура, энергия. Поэтому, чтобы конкретизировать то или иное понятие, естественные науки уточняют термин: химическая реакция и ядерная реакция, энергия химической связи и внутренняя энергия, физические и биологические периодические явления.

Особую группу понятий составляют естественно-научные величины: скорость, масса, напряжение, электрический заряд, молярная масса, валентность, магнитуда землетрясения. Величины характеризуют определённые свойства объектов или процессов. Так, масса характеризует инертные свойства вещества, скорость — быстроту изменения некоторой величины (пути, течения реакции).

Естественно-научные величины служат не только для описания свойств объектов или процессов, но и для того, чтобы количественно сравнивать степень выраженности этих свойств. С этой целью вводят процедуру измерения величин, для чего используют измерительные приборы.

Измерение величины — это сравнение её с однородной величиной, принятой за единицу.

Например, измерить пройденный телом путь — значит сравнить его с путём, принятым за единицу, т. е. с 1 м. Измерить силу землетрясения — значит сравнить её с силой землетрясения, принятой за 1 балл. Вычислить относительную молекулярную массу — значит определить, во сколько раз эта масса превосходит величину, взятую за единицу (1 атомная единица массы).

В результате измерений получают значения величин. Например, значение заряда электрона равно $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Значение величины состоит из числового значения ($-1,6 \cdot 10^{-19}$) и единицы (Кл).

Естественно-научные понятия часто используются в совершенно иных сферах деятельности человека — бизнесе (реклама), производстве (экологическая безопасность), творчестве и т. д.

Приведём несколько примеров, показывающих необходимость правильного употребления терминов и понятий естествознания.

Пример первый. Иногда возникает путаница в употреблении понятий «вещество — материал — физическое тело».

» **Напомним**, что *вещество* — это совокупность атомов, имеющая определённый элементный состав и обладающая характерными химическими и физическими свойствами.

В отличие от смесей веществ, состав индивидуального вещества отражается химической формулой и не может быть произвольно изменён.

Так, карбонат кальция — это *вещество*, состоящее из трёх химических элементов (кальция, углерода и кислорода), состав этого вещества отражает химическая формула CaCO_3 , т. е. на один атом кальция в данной соли приходится один атом углерода и три атома кислорода.

Карбонат кальция как вещество может входить в состав различных *материалов*, например мрамора, школьного мела, минералов кальцита и известняка, штукатурных смесей и т. п. В состав этих материалов наряду с основным компонентом входят и другие вещества. Так, в мраморе, помимо карбоната кальция, содержится карбонат магния MgCO_3 и примеси других веществ, придающих мрамору различную окраску и текстуру.

Окружающие нас предметы — *физические тела* — могут быть образованы или изготовлены из одного или нескольких материалов. Статуя Венеры Милосской, колонна дворца Тадж-Махал или облицовочная плитка — это физические тела, изготовленные из мрамора.

Пример второй. Ещё одна сложность в понимании и употреблении химических терминов связана с одинаковым (в большинстве случаев)

названием химических элементов и простых веществ, ими образованных. Понять, в каком смысле употреблено, например, слово «кислород» — как химический элемент или как простое вещество, — можно только по контексту.

Для химических элементов не свойственны признаки, которые мы ассоциируем с веществами: цвет, запах, вкус, агрегатное состояние и др. Все перечисленные качества характеризуют вещества, в том числе простые.

Когда мы говорим: «Яблоки содержат много железа», слово «железо» означает химический элемент, а не простое вещество-металл. В словосочетании «железный метеорит», напротив, имеется в виду железо как простое вещество.

Пример третий. Что касается физической терминологии, то наиболее часто мы в обиходе не различаем понятия «вес» и «масса».

Мы измеряем массу тела с помощью весов, сравниваем её с эталонным килограммом и т. д. Масса — это мера инертности тела.

Вес и масса связаны вторым законом Ньютона, из которого очевидно, что это далеко не одно и то же:

$$P = mg,$$

где P — вес неподвижного тела; m — масса тела; g — ускорение свободного падения.

В условиях невесомости у всех тел вес равен нулю, а масса отлична от нуля и у каждого тела своя.

Однако во многих бытовых ситуациях слово «вес» мы используем и тогда, когда речь идёт о массе. Например, мы говорим, что какой-то предмет «весит один килограмм». Даже слова «весы» и «взвешивать» имеют корень «вес», тем не менее имеют отношение к определению массы тела. Так что, строго говоря, мы должны следить за массой своего тела, а не за своим весом.

В измерении величин немаловажную роль играют эталоны.

Эталон — средство измерений (или комплекс средств измерений), обеспечивающее воспроизведение и (или) хранение единицы какой-либо физической величины.

Международные эталоны основных единиц хранятся в **Международном бюро мер и весов** — постоянно действующей международной организации со штаб-квартирой, расположенной в городе Севр (предместье Парижа, Франция). Оно было учреждено в 1875 г. вместе с подписанием Метрической конвенции. Основная задача Бюро заключается в обеспечении существования единой системы измерений во всех

» **Напомним**, что *химический элемент* — это вид атомов с одинаковым зарядом ядра.

Простое вещество — вещество, состоящее из атомов одного химического элемента.

странах — участницах этой конвенции, для чего выполняются метрологические работы, связанные с разработкой, хранением международных эталонов и сличением национальных эталонов с международными и между собой. В Бюро также проводятся исследования в области метрологии, направленные на увеличение точности измерений.

Современные эталоны — это, как правило, сложные аппаратные комплексы. А вот **эталон массы** до последнего времени был гирей — платиново-иридиевой образца 1889 г. (именно тогда Международное бюро мер и весов изготовило 42 эталона килограмма). Он никак не был связан ни с физическими константами, ни с какими-либо природными явлениями. Поэтому эталон берегли очень тщательно: не давали пылинке на него сесть, ведь пылинка — это уже несколько делений на чувствительных весах. Международный прототип эталона доставали из хранилища не чаще одного раза в пятнадцать лет, российский — раз в пять лет.

Эталонные веса во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева установлены на специальном фундаменте в 700 т, не связанном со стенами здания, чтобы исключить влияние вибраций. Температура в помещении, где за сутки на веса устанавливаются две килограммовые гири, поддерживается с точностью до 0,01 °С, а все операции ведутся из соседней комнаты с помощью манипуляторов. Погрешность эталона массы России не превышает +0,002 мг.

В 2018 г. на Генеральной конференции по мерам и весам было принято решение об отказе от материального эталона килограмма. Теперь для улучшения точности измерений единицу массы определяют через фундаментальную физическую константу — постоянную Планка. Это не скажется при бытовом применении, но значимо для современного развития науки.

Как вам известно, **эталон времени** связан с периодическими процессами. Раньше эталон времени был связан с обращением Земли вокруг своей оси. К середине XX в. развитие техники привело к тому, что точность лучших часов превзошла точность природного эталона. Современный эталон — *атомная секунда* — промежуток времени, равный 9 192 631 770 периодам излучения изотопа атома цезия-133 (^{133}Cs).

Эталон времени — особенный, его нельзя остановить, как нельзя остановить время. Меньше всего он напоминает часы, а оборудование и научные подразделения, которые обеспечивают эксплуатацию эталона, занимают большое здание. Находится оно во Всероссийском научно-исследовательском институте физико-технических и радиотехнических измерений под Москвой. Российский государственный эталон времени входит в группу лучших мировых эталонов, его относительная погрешность не превышает $5 \cdot 10^{-14}$, т. е. 0,000000000000005 с. Погрешность эталон даст за полмиллиона лет в 1 с.

Прогресс не только вводит новые эталоны, но и повышает точность старых. Например, длина одного метра, вместо хранящегося в Севре

архаичного образца, в настоящее время установлена как величина, равная пути, проходимому светом в вакууме за $1/299\,792\,458$ с.

ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ ЗАКОНЫ. Любое явление характеризуется не одной, а несколькими величинами. Так, характеристиками механического движения являются перемещение, время, скорость, ускорение; протекания химической реакции — время, концентрация исходных веществ и продуктов реакции. Величины, характеризующие то или иное явление, оказываются связанными друг с другом. Например, сила тока, проходящего по участку цепи, прямо пропорциональна напряжению на концах этого участка и обратно пропорциональна его сопротивлению:

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

где I — сила тока, U — напряжение на участке цепи, R — сопротивление.

Связь между величинами, характеризующими явление или свойство тела, может быть установлена экспериментально или теоретически.

Если связь между величинами носит устойчивый характер, т. е. повторяется в эксперименте, то её называют **законом**.

В приведённом ранее примере уравнение выражает закон Ома для участка электрической цепи. Он устанавливает связь между силой тока и напряжением. Связь эта была установлена Омом экспериментально.

Вам уже известны такие законы, как законы Ньютона, закон *Архимеда* (ок. 287—212 до н. э.), закон Паскаля, законы Менделя, закон постоянства состава веществ, Периодический закон Д. И. Менделеева.

Некоторые естественно-научные законы являются частными, т. е. они описывают ограниченный круг явлений, например закон Ома, закон гомологических рядов в биологии, закон постоянства состава веществ в химии и т. д.

Другие законы носят более общий характер, они используются во всех естественных науках, т. е. в естествознании в целом. Это законы сохранения энергии, импульса, электрического заряда, закон сохранения массы. В естествознании действуют и общеполитические законы, отражающие объективные закономерности развития не только природы, но и общества: закон единства и борьбы противоположностей, закон перехода количественных изменений в качественные, закон отрицания отрицания.

Большинство естественно-научных законов имеют определённые границы применимости. Так, законы Ньютона применимы к макроскопическим телам, которые можно считать материальными точками, движущимися в инерциальных системах отсчёта со скоростями, много

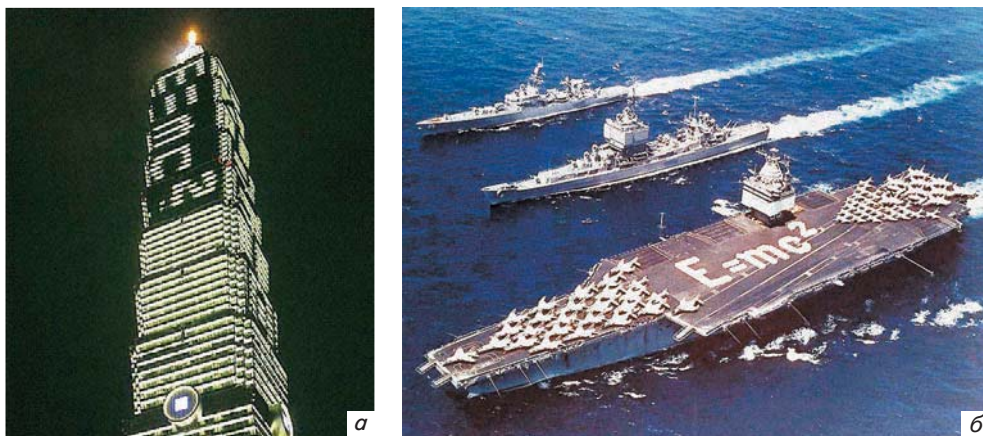


Рис. 16. Изображение знаменитого уравнения Эйнштейна: *а* — на небоскрёбе в столице Тайваня Тайбэе во время празднования года физики (2005); *б* — на палубе первого атомного авианосца

меньшими скорости света. Закон постоянства состава веществ распространяется только на группу веществ молекулярного строения, называемую *далтонидами*.

Как уже говорилось, некоторые законы установлены экспериментально. Например, закон Авогадро, закон сохранения энергии.

Другие законы являются результатом теоретических изысканий. Например, закон взаимосвязи массы и энергии, сформулированный А. Эйнштейном ещё в 1905 г.:

$$E = mc^2,$$

где E — энергия; m — масса; c — скорость света в вакууме.

Это, пожалуй, самое известное уравнение в физике (рис. 16), олицетворяющее целую концепцию, согласно которой масса тела является мерой заключённой в нём энергии.

ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ ТЕОРИИ. Экспериментальные факты — это один из элементов системы знаний о природе. Более полными эти знания могут стать только при создании теории для объяснения экспериментальных фактов. Так, предположение о том, что вещества состоят из частиц, находящихся в непрерывном хаотическом движении, оставалось гипотезой и после того, как были поставлены эксперименты, косвенным образом доказывающие его справедливость. И лишь после создания Максвеллом классической статистической теории оно превратилось в истинное знание. Следует понимать, что, говоря об истинности знаний, мы имеем в виду современный этап развития науки. Дальнейшее развитие науки и техники может вносить неожиданные поправки.

В процессе познания важно не только установить законы, но и объяснить, почему данное явление подчиняется тем или иным законам. Здесь на помощь приходит теория. Именно теория, теоретические знания позволяют ответить на вопрос «почему?». Так, в XIX в. учёные обнаружили, что водные растворы некоторых веществ проводят электрический ток. И лишь в 1887 г. выдающимся шведским химиком С. А. Аррениусом (1859—1927) были заложены основы теории электролитической диссоциации, которая позволила объяснить природу электрического тока в растворах и расплавах электролитов.

Теория позволяет не только объяснять явления и свойства вещества, но и предсказывать их. Например, зная тип химической связи в веществе и его растворимость в воде, без проведения эксперимента легко предсказать, будет ли его водный раствор проводить электрический ток.

Более того, научная теория, теоретические знания в конечном счёте воплощаются в практически значимые результаты. Теория электролитической диссоциации положила начало современной технологии электрохимического производства, без которого сегодня немыслимы получение множества веществ и материалов, нанесение декоративных, защитных и специальных покрытий, производство химических источников тока, работа заводов и предприятий космической и радиоэлектронной техники.

Что же такое научная теория?

Теория — это система понятий, принципов и законов, позволяющих достаточно полно описывать определённый круг явлений.

Например, молекулярно-кинетическая теория объясняет явления, природа которых связана со строением вещества, в частности тепловые явления.

Естественно-научные теории можно условно разделить на фундаментальные и частные. Так, выделяют четыре *фундаментальные физические теории* — классическую механику, молекулярно-кинетическую теорию, электродинамику и квантовую теорию. Каждая из этих теорий включает в себя частные теории. Например, в электродинамику входят такие частные теории, как теория проводимости, теория электромагнитной индукции, электростатика и др.



Знание основных понятий, законов, теорий естествознания совершенно необходимо каждому культурному человеку для того, чтобы представлять естественно-научную картину мира. Что это такое и каковы её составляющие, вы узнаете из материала следующего параграфа.

Вы знаете

- ▶ что такое естественно-научное понятие
- ▶ что такое естественно-научный закон
- ▶ что такое естественно-научная теория

Вы можете

- ▶ объяснить, для чего служат естественно-научные величины и как их можно измерить
- ▶ обосновать, почему одни естественно-научные законы являются частными, а другие используются во всех естественных науках, и привести примеры тех и других
- ▶ доказать, что только с помощью теории можно объяснить природу тех или иных явлений и свойств веществ, после чего гипотезы превращаются в истинное знание

Выполните задания

1. Приведите примеры законов, различающихся по степени общности.
2. На примере наследственности и изменчивости при становлении новых форм жизни в биологической эволюции проиллюстрируйте справедливость закона единства и борьбы противоположностей.
3. Объясните, какова роль теории в познании. Приведите примеры фундаментальных и частных теорий. Какие явления они объясняют?
4. В притче Ф. Кривина «Окисление» читаем:
 «— Окисляемся, браток?
 — Окисляемся.
 — Ну и как оно? Ничего?
 — Ничего.
 Разговор ведут два полена.
 — Что-то ты больно спешишь, это, браток, не по-моему. Окисляться надо медленно, с толком, с пониманием...
 — А чего тянуть? Раз — и готово!
 — Готово! Это смотря как готово... Ты окисляйся по совести, не почём зря. У меня в этом деле опыт есть, я уже три года тут окисляюсь...
 Окисляются два полена. Одно медленно окисляется, другое быстро.
 Быстро — это значит горит.
 Медленно — это значит гниёт.
 Вот какие бывают окисления».

Определите, какой из процессов в притче является более общим, а какой частным, аргументируйте свой ответ.

5. Сформулируйте основные положения атомно-молекулярного учения. Какое название носит это учение в курсе физики? Сравните основные положения этого учения и теории.

Темы для рефератов

1. Четыре фундаментальные теории в физике. 2. Теория электролитической диссоциации и её практическое значение в современной промышленности.

§ 6. Естественно-научная картина мира

1. Назовите имена учёных с античных времён до наших дней, которые внесли большой вклад в эволюцию представлений о мире.
2. Проиллюстрируйте на примерах, как происходила научная революция в биологии в XVIII—XX вв. — от разработки систематики растительного и животного мира и клеточной теории до открытия ДНК. Назовите имена учёных, совершивших эти открытия.

ОБЩЕНАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА. Любая область научных исследований (и гуманитарные, и естественные, и технические науки) направлена на получение новых знаний о природе, обществе или мышлении, т. е. об окружающем мире. Быть может, человечеству вовсе не нужно много частных наук, если у каждой из них в конечном счёте один объект исследования? А что если «придумать» единственную науку — какое-нибудь «мирознание»? Тогда и школьный предмет будет единственным. Вопрос не такой уж и абсурдный, как может показаться на первый взгляд. Во-первых, прародительницей всех наук принято считать античную, древнегреческую и древнеримскую философию. Во-вторых, любая наука использует одни и те же научные методы и приёмы, мыслительные операции, этапы научного поиска. В-третьих, мы не можем отрицать тесного переплетения, взаимопроникновения наук, особенно в одной научной области (например, среди гуманитарных или естественных наук), возникновения смежных наук (биохимия, физическая химия, биофизика и др.).

Однако многогранность окружающего мира, возрастающие практические потребности общества привели к разделению научных исследований, выделению научных областей и частных наук.

Тем не менее учёные с давних пор и до настоящего времени стремятся объединить научные знания в единую систему. Её называют общенаучной картиной мира.

Общенаучная картина мира — это обобщённая и систематизированная совокупность знаний о Вселенной, живой природе, обществе и человеке, подтверждённых на опыте или на практике, в их взаимодействии и развитии.

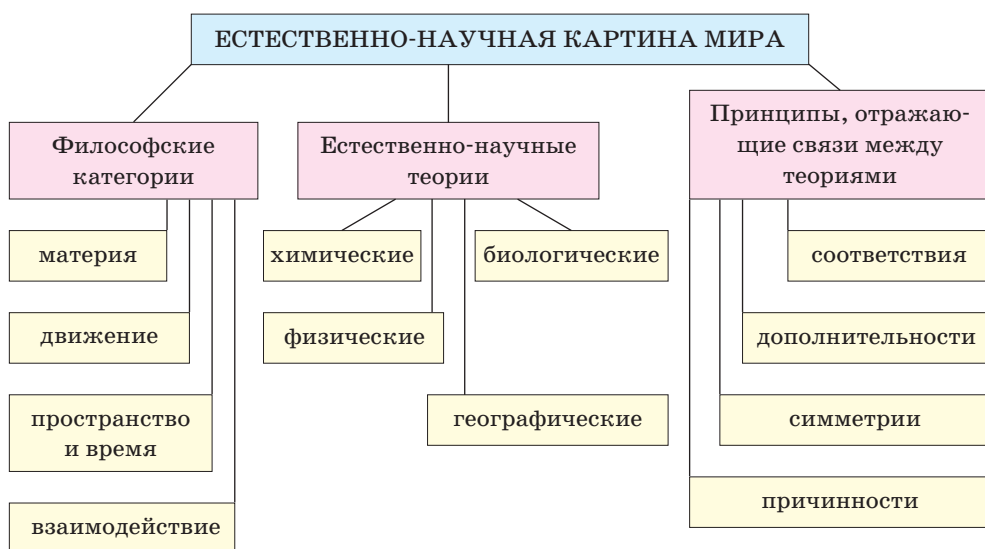
Под совокупностью знаний в данном случае подразумеваются философские, общественно-политические, социально-экономические, естественно-научные, технические и другие знания.

СТРУКТУРА ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНОЙ КАРТИНЫ МИРА. Частью общенаучной картины мира является естественно-научная картина мира, которая представляет собой высший уровень обобщения и систематизации всей совокупности естественно-научных знаний.

Естественно-научная картина мира — это идеальная модель природы, включающая общие понятия, принципы, гипотезы естествознания и характеризующая определённый этап его развития.

Она включает в себя картины мира отдельных естественных наук: физическую, биологическую, химическую, геологическую и т. п.

Естественно-научная картина мира имеет определённую структуру. Важнейшими её компонентами являются исходные философские категории — представления о материи, движении, пространстве и времени, взаимодействии; естественно-научные теории; методологические, общенаучные принципы, отражающие связи между теориями. Вот как это выглядит на схеме:



ЭВОЛЮЦИЯ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНОЙ КАРТИНЫ МИРА. Первой естественно-научной картиной мира, по существу, является **физическая картина мира**, потому что в XVII в. физика уже приобрела все признаки науки и «вырвалась в лидеры». В химии и биологии в это время началась только систематизация огромного количества фактов. К концу XVII в. прежде всего благодаря работам Г. Галилея и И. Ньютона сложилась **механическая картина мира**. Открытия, которые завершили формирование механической картины мира, Ньютон изложил в своей работе «Математические начала натуральной философии» (1687).

Можно выделить основные положения механической картины мира:

- материя представлялась только в виде вещества, которое состоит из неизменных дискретных частиц — атомов;
- пространство и время считались абсолютными, т. е. однородными на бесконечной протяжённости и бесконечной длительности;
- движение понималось как изменение положения тела в пространстве, все другие виды движения сводились к механическому;
- считалось, что движение относительно и может осуществляться с бесконечно большой скоростью;
- все взаимодействия сводились к гравитационному, с позиций которого и объяснялись все явления; полагали, что гравитационное взаимодействие передаётся мгновенно без какого-либо посредника.

Вплоть до начала XIX в. атом был не больше чем гипотезой. Положение изменилось лишь в 1808 г., когда английский учёный *Дж. Дальтон* (1766—1844) опубликовал труд «Новая система химической философии», в котором изложил атомистическую теорию. В нём, как дань уважения Демокриту, Дальтон сохранил термин «атом», под которым понимал мельчайшую химически неделимую частицу. Атомы соединяются в *молекулы*, которые находятся в непрерывном движении. При химических реакциях молекулы исходных веществ разрушаются до атомов и из них образуются молекулы новых веществ. Аналогичные идеи ещё во второй половине XVIII в. пропагандировал великий русский учёный М. В. Ломоносов. По его мнению, тела состоят из корпускул, которые, в свою очередь, построены из элементов, что соответствует современным представлениям о строении вещества.

Окончательно атомно-молекулярное учение утвердилось в науке после съезда химиков в г. Карлсруэ в 1860 г. На этом съезде были определены понятия атомного веса (атомной массы), а также молекулы и атома. Было установлено, что молекула — это наименьшая частица вещества, вступающая в реакции и определяющая свойства этого вещества, а атом — наименьшее количество элемента, содержащееся в молекулах.

В недрах механической картины мира зародилась **электродинамическая картина мира**, которая окончательно сложилась в кон-

це XIX — начале XX в. В частности, были открыты электромагнитная индукция (М. Фарадей), магнитное поле тока (А. Ампер) и другие явления, которые не могли быть объяснены с позиций классической механики, и потребовалось введение новых теорий и законов. В электродинамической картине мира материя уже не только вещество, но и электромагнитное поле, а пространство и время относительно и связаны между собой и с материальными объектами. Движение рассматривалось не просто как перемещение в пространстве вещественных объектов, а ещё и как распространение электромагнитного поля и движение заряженных частиц. Под взаимодействием понималась не только гравитация, но и электромагнитное взаимодействие.

Таким образом, число известных фундаментальных теорий увеличилось до трёх: классическая механика, молекулярная теория и классическая электродинамика.

Примерно в это же время происходило бурное развитие биологии: *К. Линней* (1707—1778) разработал систематику растительного и животного мира; *Г. Мендель* открыл законы наследственности; *Л. Пастер* (1822—1895) создал вакцины против сибирской язвы и бешенства; *Дарвин* сформулировал эволюционную теорию. Эти открытия позволили говорить о научной революции в области биологии.

Для XIX в. характерно стремительное развитие и химической науки. Великий русский химик *Д. И. Менделеев* открыл Периодический закон и создал Периодическую систему химических элементов. *А. М. Бутлеров* разработал теорию химического строения органических соединений. Бурно развивались стереохимия, химическая термодинамика и химическая кинетика. Блестящих успехов достигли прикладная неорганическая химия и органический синтез. В связи с ростом объёма знаний о веществе и его свойствах началась дифференциация химии — выделение её отдельных ветвей (органическая, неорганическая, аналитическая химия и пр.), приобретающих черты самостоятельных наук.

В конце XIX — начале XX в. были обнаружены такие экспериментальные факты, которые не находили объяснения в рамках электродинамической картины мира. К ним относятся, в частности, явление фотоэффекта (*Г. Р. Герц*, 1857—1894; *А. Г. Столетов*, 1839—1896) и радиоактивность (*А. А. Беккерель*, 1852—1908). Эти и другие факты получили своё объяснение в **квантово-полевой картине мира**, построение которой продолжается и сейчас. В такой картине мира материя существует в виде и вещества, и поля. Эти два вида материи связаны между собой и могут взаимно превращаться. Движение понимается как изменение состояния не только макроскопических, но и микроскопических объектов. Пространство и время связаны между собой и с материей.

ПРИНЦИПЫ, ОТРАЖАЮЩИЕ ВЗАИМОСВЯЗЬ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ТЕОРИЙ.

Как вы уже поняли, появление новых фундаментальных взглядов на природные явления не отвергало, а углубляло и расширяло предшествующие теории, существовавшие в науке. Взаимоотношения старых и новых теоретических представлений определяются четырьмя основными принципами. Рассмотрим каждый из них.

Принцип соответствия. Сущность этого принципа состоит в том, что каждая старая теория входит в более общую новую теорию как её частный предельный случай. Так, классическая механика является предельным случаем более общей теории — специальной теории относительности, геометрическая оптика — предельным случаем волновой теории (при $v \ll c$) и т. п.

Впервые идею соответствия использовал *Н. И. Лобачевский* (1792—1856), создавая свою геометрию, частным случаем которой является геометрия *Евклида* (ок. 365 — между 275 и 270 до н. э.). Геометрия Лобачевского переходит в геометрию Евклида при бесконечно большом радиусе кривизны пространства.

До уровня общенаучного принципа идею соответствия довёл Н. Бор. Разрабатывая теорию строения атома, он обратил внимание, что в определённых частных случаях существует соответствие квантовых и классических представлений об излучении атома.

В настоящее время принцип соответствия определяет общую закономерность развития всех естественных наук. Например, он проявляется в синтетической эволюционной теории, которая включает в себя важнейшие положения дарвинизма, генетики и экологии. В химии ярким примером этого принципа является развитие представлений о причинах периодического повторения свойств химических элементов и образованных ими веществ. Первая формулировка Периодического закона связывала периодичность свойств с увеличением атомной массы химических элементов, последующая — с ростом заряда атомного ядра и, наконец, — с периодическим повторением строения внешних электронных слоёв атомов.

Принцип дополнительности. Этот принцип означает необходимость и возможность применения двойственного подхода к исследованию и описанию различных явлений. Ещё во времена Ньютона сложились две точки зрения на природу света. В соответствии с первой точкой зрения, которую поддерживал Ньютон, предполагалось, что свет — это поток световых частиц, которые распространяются в пространстве. Вторая точка зрения рассматривала свет как волну, распространяющуюся в упругой среде.

В XIX в. восторжествовали волновые представления о свете, было доказано, что свет распространяется в пространстве в виде электромагнитных волн со скоростью 300 000 км/с для вакуума. В начале XX в. установили, что при взаимодействии с веществом свет ведёт себя

как частицы. Эти частицы, получившие название *фотонов*, обладают определённой энергией, которая зависит от частоты колебаний в электромагнитной волне.

Бор писал, что эти две точки зрения на природу света являются попыткой объяснить экспериментальные данные. При этом классические представления (свет — волна) дополняются современными (свет — фотоны, кванты). Революционность взглядов Бора заключается в том, что он не разделил, а объединил, взаимодополнил, казалось бы, противоречащие друг другу взгляды на природу света.

Такой подход был необычен для классической логики, в которой существует правило «исключённого третьего»: из двух противоположных высказываний одно истинно, другое — ложно, а третьего быть не может. В классической физике не было случая усомниться в этом правиле, поскольку там понятия «волна» и «частица» действительно противоположны и несовместимы по своему существу. Как оказалось, в атомной физике оба они одинаково хорошо применимы для описания свойств одних и тех же объектов, причём для полного описания необходимо использовать их одновременно.

Бор распространил принцип дополнительности и на другие области физики, возведя его в ранг физического принципа.

Возникнув в недрах физики, принцип дополнительности в настоящее время стал общенаучным методологическим принципом, поскольку он справедлив как в области природных явлений, так и в жизни общества.

Рассмотрим применимость этого принципа для биологии на примере жизни клетки. Клетка — самая малая часть, структурная единица любого организма и основа его жизнедеятельности. Изучить жизнь клетки — значит узнать и понять все процессы, которые в ней происходят: как клетки растут, соединяются в ткани, как из разных тканей строятся разные органы и как они дополняют друг друга в жизнедеятельности целого организма. Важнейший принцип биохимии, лежащий в основе передачи наследственности, так и называется — принцип дополнительности, или комплементарности. Этот принцип раскрывает основы формирования двойной спирали ДНК и её способности к самоудвоению.

Принцип дополнительности в гуманитарной сфере проиллюстрируем примером, который для вас будет небезынтересен. С давних пор известно, что наука — это лишь один из способов изучить окружающий мир. Другой, дополнительный способ воплощён в искусстве. Само совместное существование искусства и науки — хорошая иллюстрация принципа дополнительности. Можно полностью уйти в науку или всецело жить искусством — оба эти подхода к жизни одинаково правомерны, хотя, взятые по отдельности, они и неполны. Стержень науки — логика и опыт. Основа искусства — интуиция и вдохновение. Но искусство балета требует математической точности, а, по словам



Рис. 17. Дж. Арчимбольдо. Портрет императора Рудольфа II в образе Вертумна — бога времён года и их различных даров. 1591 г.

великого Пушкина, «вдохновение нужно в геометрии, как и в поэзии». Всё это не противоречит, а дополняет друг друга: истинная наука сродни искусству — точно так же, как настоящее искусство всегда включает в себя элементы науки. В высших своих проявлениях они неразличимы и неразделимы, как свойства «волна — частица» в атоме. Они отражают разные, дополнительные стороны человеческого опыта и лишь взятые вместе дают нам полное представление о мире.

А вот ещё один яркий пример принципа дополнительности, иллюстрирующий совместное существование искусства и науки (в данном случае — ботаники). Очевидно, только детальное знание ботанических объектов позволило художнику-маньеристу Дж. Арчимбольдо (1527—1593) создать знаменитый портрет императора Рудольфа II Габсбурга (рис. 17).

Принцип причинности. *Причина* — это то, что приводит к изменениям, а *следствие* — изменения, которые порождаются причиной. Мы говорим о причине, когда стремимся объяснить то или иное событие, мотив своих действий и т. п. Данное событие не может быть причиной событий из прошлого, т. е. **принцип причинности** устанавливает допустимые влияния событий друг на друга.

На принципе причинности основано научное познание действительности и организована вся материально-практическая деятельность человека. Человек не только наблюдает определённую регулярность, повторяемость, временную последовательность возникновения тех или иных явлений, но и активно воздействует на природу, целенаправленно изменяет её. Вы, конечно, слышали, что в последнее столетие наблюдается повышение среднегодовой температуры на земном шаре. Это может привести к катастрофическим последствиям в результате таяния полярных льдов. Повышение температуры — это следствие повышения содержания в атмосфере так называемых парниковых газов, в первую очередь углекислого газа. Каковы причины накопления CO_2 в атмосфере? Одна из них — хозяйственная деятельность человека. Описанная причинно-следственная цепочка заставила государственных деятелей большинства стран мира подписать Киотский протокол.

Киотский протокол — международное соглашение, принятое в декабре 1997 г. в Киото (Япония), обязывает страны сократить выбросы в атмосферу парниковых газов.

В каждой естественной науке принцип причинности находит своё отражение. В классической механике, например, принцип причинности используется для выбора начальных условий к соответствующим уравнениям динамики, что обеспечивает однозначность их решения, т. е. возможность рас-

считать траекторию движения тела и его положение в любой момент времени. Свойства вещества являются следствием их химического строения.

В рамках современной квантово-полевой картины мира говорят о вероятностной причинности. Это означает, что состояние частицы в любой момент времени не может быть определено точно и однозначно, это можно сделать лишь с некоторой вероятностью. В частности, состояние электрона или любой другой элементарной частицы характеризуется координатой и импульсом так же, как и состояние макроскопического тела. Однако если для макроскопического тела можно определить однозначно и координату, и импульс одновременно, то для элементарной частицы точно можно определить лишь одну из величин — либо координату, либо импульс. Другая при этом будет определена с некоторой вероятностью. Этот принцип позволяет представить себе состояние электрона в атоме в виде электронного облака, в каждой точке которого пребывание электрона носит вероятностный характер.

Принцип причинности — основа понимания не только явлений природы, но и хода исторических событий, социальных явлений, экономического развития. Понятно, что его следует учитывать в любой сфере человеческой деятельности.



Рис. 18. Примеры проявления симметрии в природе и в архитектуре

Принцип симметрии. Слово «симметрия» в переводе с греческого означает соразмерность, пропорциональность, одинаковость в расположении частей. Античные философы считали симметрию, порядок и определённую сущностью прекрасного.

В истории науки понятие симметрии меняло своё содержание. Возникнув как представление о красоте и гармонии природы (рис. 18), симметрия постепенно стала пониматься как принцип организации и устройства мира.

Принцип симметрии основан на изначальных представлениях об однородности и изотропности пространства. С ней непосредственно связаны законы сохранения. Так, закон сохранения импульса связан с симметрией или однородностью пространства. Это означает, что физические законы одинаковы во всех точках пространства. Закон сохранения энергии связан с симметрией или однородностью времени, и это означает, что физические законы в любой момент одинаковы, т. е. время не влияет на соблюдение физических законов.

Исследование симметрии в природе стало одним из принципов теоретического исследования мира. Законы природы позволяют предсказывать явления, а принципы симметрии — открывать законы природы. Например, уравнения Максвелла в электродинамике получены на основании симметрии между электрическими и магнитными явлениями. Максвелл исходил из убеждения, что взаимодействия электрического и магнитного полей должны быть симметричными, и поэтому ввёл в свои уравнения дополнительное слагаемое, учитывающее это обстоятельство.

Молекулы многих сложных органических веществ (аминокислот, белков, углеводов) характеризуются *хиральностью* (англ. *chirality*, от греч. *cheir* — рука) — свойством молекулы быть несовместимой со своим зеркальным отражением любой комбинацией перемещений в трёхмерном пространстве, как наша левая и правая рука. Молекулы, образующие живые организмы, могут обладать единственной ориента-

цией — «правой» или «левой». Например, молекулы ДНК всегда имеют вид спирали, закрученной вправо, а белки живых организмов построены только из «левых» аминокислот. Значение зеркальной симметрии в организации жизни на нашей планете очень велико, так как хиральные молекулы могут существенно отличаться как по своей биологической активности, так и по совместимости с другими природными соединениями, подходя друг к другу, как ключ к замку.

Лабораторный опыт

Запах мятной жевательной резинки обусловлен пахучим веществом — L-карвоном («левой» ориентации). Запах тмина обусловлен D-карвоном. Разницу в запахе между этими хиральными молекулами улавливают 80% людей, 20% эту разницу не чувствуют.

Поместите кусочек мятной жевательной резинки в одну пробирку, 10 семян тмина — в другую, в третью пробирку — или кусочек жвачки, или семена тмина. Закройте пробирки пробками. Попросите одноклассника закрыть глаза, понюхать содержимое каждой пробирки по очереди и определить, какие пробирки пахнут одинаково, а какая имеет другой запах. В свою очередь, понюхайте содержимое пробирок, приготовленных им. К какой группе людей вы относитесь?

Симметрия в живой природе никогда не бывает абсолютной, всегда присутствует какая-то доля «несимметрии». Хотя с симметрией мы встречаемся практически всюду, но при этом замечаем часто не её саму, а её нарушение — асимметрию.

Симметрия и асимметрия — две полярные противоположности активного мира. На разных уровнях развития материи присутствует то симметрия — относительный порядок, то асимметрия тенденции нарушения покоя, движения, развития.

Асимметрия присутствует уже на уровне элементарных частиц и проявляется в абсолютном преобладании в нашей Вселенной частиц над античастицами. Известный физик Ф. Дайсон писал: «Открытия последних десятилетий в области физики элементарных частиц заставляют нас обратить особое внимание на концепцию нарушения симметрии. Развитие Вселенной с момента её зарождения выглядит как непрерывная последовательность нарушений симметрии. В момент своего возникновения при грандиозном взрыве Вселенная была симметрична и однородна. По мере остывания в ней нарушается одна симметрия за другой, что создаёт возможности для существования всё большего и большего разнообразия структур. Феномен жизни естественно вписывается в эту картину. Жизнь — это тоже нарушение симметрии».

Таким образом, естественно-научные знания о природе в систематизированном и обобщённом виде представляют собой естественно-

научную картину мира, в которой представления о материи и движении, пространстве и времени являются общенаучными, философскими категориями.



Но окружающий нас мир, вернее, миры настолько разнообразны, что о них надо сказать отдельно, и вы узнаете это из следующего параграфа.

Вы знаете

- ▶ что называют общенаучной картиной мира
- ▶ какова структура естественно-научной картины мира
- ▶ как эволюционировала естественно-научная картина мира

Вы можете

- ▶ представить, как естественно-научная картина мира менялась, начиная с XVII в. и до наших дней
- ▶ перечислить принципы, которые лежат в основе взаимосвязей фундаментальных теорий, и на примерах из разных естественных наук — химии, физики, биологии — проиллюстрировать эту взаимосвязь
- ▶ доказать на примерах, что взаимопроникновение искусства в науку и наоборот — яркая иллюстрация принципа дополнительности

Выполните задания

1. Обоснуйте, почему, на ваш взгляд, в естественно-научной картине мира присутствуют такие философские категории, как пространство, время, материя и др.
2. Кратко раскройте сущность научных принципов, которые определяют взаимосвязь естественных наук, и проиллюстрируйте примерами.
3. Проиллюстрируйте принцип соответствия на примере развития атомно-молекулярного учения.
4. Мифологическое существо — кентавр — можно рассматривать как своеобразный пример принципа дополнительности. Поясните почему.
5. Рассмотрите картину Дж. Арчимбольдо «Портрет императора Рудольфа II в образе Вертумна — бога времён года и их различных даров». Какие овощи и фрукты использовал художник для создания портрета, почему именно их? Сформулируйте свою точку зрения, соотнесите её с принятой в искусствоведении, используя возможности Интернета.

1. Этапы развития естественно-научной картины мира.
2. Аристотелева картина мира и современный взгляд на естественно-научную картину мира.
3. Искусство и архитектура в тесной связи с законами физики, химии, математики — яркий пример проявления принципа дополнительности.

§ 7. Миры, в которых мы живём

1. Изложите историю создания оптических приборов от XVI—XVII вв. до наших дней.
2. Перечислите доказательства учёными Средневековья шарообразности Земли, покажите на примерах от Леонардо да Винчи до К. Э. Циолковского и С. П. Королёва стремление человечества освоить воздушное пространство и вырваться в космос.
3. Назовите имена писателей-фантастов, которые предсказали в своих романах создание приборов, машин и аппаратов, помогающих людям проникнуть в глубины космоса и океана.

МНОГООБРАЗИЕ МИРОВ. Человека всегда привлекали таинства запредельно больших расстояний и бесконечно малых величин. Трудно себе представить расстояние в несколько миллионов световых лет, осмыслить размеры галактик и Вселенной. Так уж устроен человеческий разум, что мы всегда задаёмся вопросом: а что находится дальше, за той умозрительной границей, которую рисует воображение?

Не менее интересно мысленно проникать в глубь материального мира. Мы уже уверены в сложности строения атома и элементарных частиц, его составляющих. Доказано, что и они, элементарные частицы, не такие уж элементарные. Протон, например, образован частицами, которые называют кварками и глюонами. А дальше?

Желание человечества проникнуть в самые глубины мироздания заставляет тратить баснословные средства на научные исследования и проектные разработки, к примеру, на создание Большого адронного коллайдера, с помощью которого предполагается зафиксировать ещё более мелкие «кирпичики» материи.

Проникновение в безгранично малые или необозримо большие миры — не простое любопытство. Человечество так и осталось бы на уровне первобытно-общинного строя, если бы не научилось использовать во благо себе научные знания и практический опыт, почерпнутый

при исследовании окружающего мира. Человек стремится познать устройство миров, существующих объективно и независимо от его воли, — мира, в котором живёт он сам, и миров, которые живут в нём. Границы этих миров достаточно условны.

Мегами́р — это мир, объекты которого имеют неограниченные масштабы (например, Вселенная, галактики; рис. 19, а).

Макроми́р — это мир, объекты которого окружают нас и видны невооружённым глазом либо их можно увидеть с помощью микроскопов и телескопов с небольшим увеличением (например, планета Земля, её спутник — Луна, человек, растительные и животные клетки; рис. 19, б, в).

Микроми́р — это мир, объекты которого имеют размеры меньше 10^{-8} м (это молекулы, атомы и элементарные частицы — протоны, нейтроны, электроны; рис. 19, г).

Уровень развития современной техники позволяет уже различать структуры размером от 1 до 100 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9}$ м; например, молекула ДНК имеет диаметр 2 нм), поэтому эту часть микромира выделяют в **наномир**.

ИЗУЧЕНИЕ ОБЪЕКТОВ МЕГА- И МАКРОМИРА.

Все объекты мегамира — галактики и Вселенную — невозможно увидеть целиком, равно как и некоторые объекты макромира, например Землю, — в силу больших размеров. Если человек находится на её поверхности, то он может увидеть отдельные горы, небольшие озёра, фрагменты островов, лесов и рек, а земной шар может рассмотреть лишь из космоса. Недаром в древности люди представляли себе Землю плоской. В докосмическое время доказательствами того, что Земля имеет форму шара, служили следующие наблюдения: постепенное исчезновение корабля, уплывающего за линию горизонта, кругосветные плаванья и т. д.

Основными приборами, с помощью которых изучают Вселенную, являются телескопы



Рис. 19. Объекты различных миров: мегамира — галактика (а); макромира — человек (б); клетка (в); микромира — молекула ДНК (г)

разных типов, с которыми вы познакомитесь в следующей главе учебника.

Некоторые объекты макромира можно наблюдать непосредственно и проводить различные их исследования. Например, измерять вес, рост, пульс, давление, остроту зрения человека или животного и т. п. Изучение более мелких объектов макромира неразрывно связано с усовершенствованием оптических приборов, которые сыграли большую роль в развитии, например, клеточной теории. В 1665 г., изучая срез пробки, *Р. Гук* (1635—1703) обнаружил структуры, похожие на соты, и назвал их клетками. *А. Левенгук* (1632—1723) усовершенствовал микроскоп и смог наблюдать живые клетки с увеличением более чем в 200 раз. В 1831—1833 гг. *Р. Броун* (1773—1858) обнаружил в растительных клетках ядро. Проанализировав все существующие на тот момент знания о клеточном строении живой природы, в том числе труды ботаника *М. Я. Шлейдена* (1804—1831), в 1838 г. *Т. Шванн* (1810—1882) сформулировал основные положения клеточной теории. Однако более детальное изучение объектов микромира с помощью оптических микроскопов ограничено тем, что они имеют определённый предел разрешения, т. е. возможность увидеть по отдельности мелкие объекты или их части.

Английский физик *Дж. У. Рэлей* (1842—1919) доказал, что предел разрешения микроскопа, ограничивающий минимальные размеры рассматриваемого объекта, равен $1/2$ длины световой волны. Поскольку самые короткие длины волн видимого света составляют 400 нм, то разрешающая способность оптических микроскопов — около 200 нм.

ИЗУЧЕНИЕ ОБЪЕКТОВ МИКРО- И НАНОМИРА. Исследование объектов микромира (структуры клеточной мембраны, органоидов растительной и животной клеток, двойной спирали ДНК и т. п.) связано с созданием электронного микроскопа. Он позволил значительно расширить возможности исследования веществ на микроскопическом уровне. В электронном микроскопе вместо света используются пучки электронов, ускоренные электрическим полем до больших энергий. В качестве линз выступают электромагнитные поля соответствующей конфигурации, т. е. своеобразные электронные линзы. Магнитное и электрическое поля изменяют движение потока электронов, что делает возможной фокусировку электронных лучей (в оптическом микроскопе фокусируются световые лучи).

Изображение, подобное телевизионному, наблюдают на экране, покрытом специальным составом, который светится при попадании на него потока электронов, либо фиксируют на фотопластинке.

«Увидеть» объекты наномира можно с помощью сканирующих зондовых микроскопов. Зондовыми они называются потому, что в роли

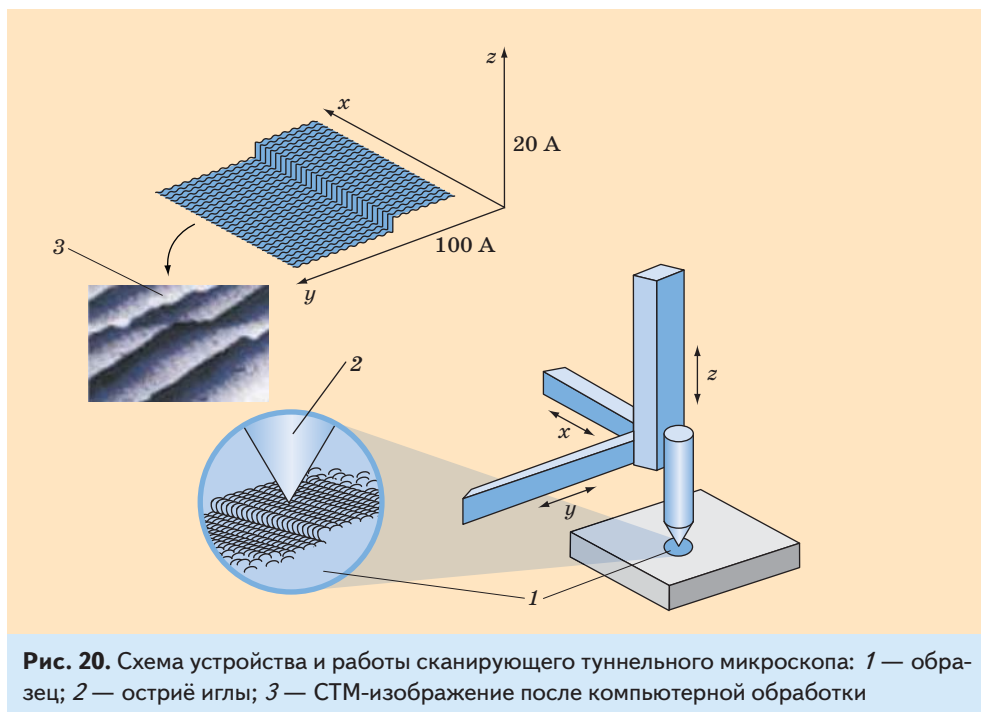


Рис. 20. Схема устройства и работы сканирующего туннельного микроскопа: 1 — образец; 2 — острие иглы; 3 — СТМ-изображение после компьютерной обработки

своеобразного щупа, или зонда, выступает чрезвычайно тонкая игла. Такие микроскопы обладают по сравнению с обычными электронными более высокой разрешающей способностью. Так, они могут сканировать профиль поверхности изучаемого объекта с точностью до отдельных атомов.

Различают два основных типа сканирующих зондовых микроскопов: сканирующий туннельный микроскоп (СТМ) и атомно-силовой микроскоп (АСМ).

Рассмотрим принцип действия СТМ (рис. 20).

Металлическая игла подводится к образцу на расстояние нескольких десятков нанометров. При таком сближении некоторые электроны, не обладающие достаточной энергией для преодоления электростатического притяжения к ядру, могут покинуть электронные оболочки своих атомов. Это возможно из-за двойственной природы электрона, который является одновременно и частицей, и волной. Именно волновые свойства электрона позволяют ему покинуть «родную оболочку» через «туннель» в энергетическом барьере притяжения к ядру. (Своеобразной моделью к сказанному может служить фрагмент из голливудского блокбастера Т. Бекмамбетова «Особо опасен», в котором наглядно представлен процесс огибания пулей (аналога электрона) препятствия (аналога энергетического барьера).)

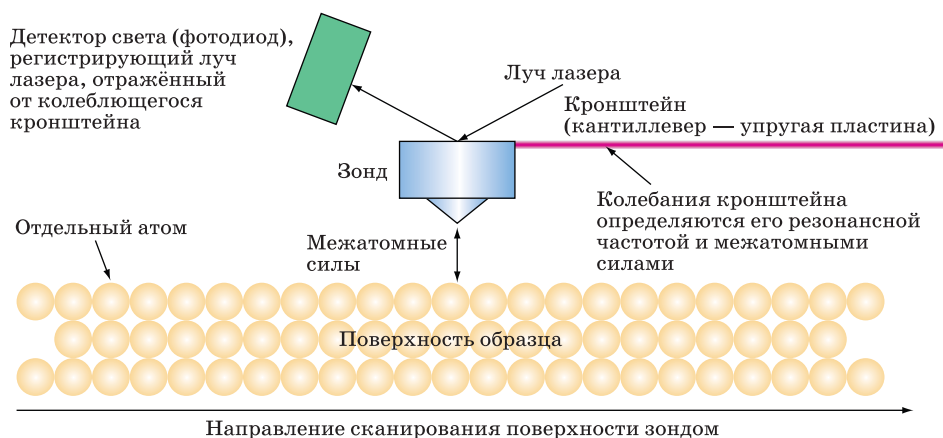


Рис. 21. Схема устройства и работы атомно-силового микроскопа

При подаче на иглу относительно небольшого напряжения возникает так называемый *туннельный ток*.

Сила тока зависит от расстояния между образцом и иглой. Типичные значения $1 — 1000 \text{ пА}^1$ при расстояниях около 1 мкм .

В процессе сканирования игла движется вдоль поверхности образца, сила туннельного тока меняется в зависимости от формы поверхности. Такие изменения фиксируются, и на их основе строится карта поверхности (см. рис. 20).

В каждом мире действуют свои собственные законы. Мега- и макромиры подчиняются законам классической физики. Однако «туннельный эффект», о котором говорилось выше, не может быть объяснён этими законами. В микромире «работают» свои, особые законы, основанные на принципах корпускулярно-волнового дуализма частиц.

Другой «инструмент» для исследования, например, диэлектриков, — это атомно-силовой микроскоп (АСМ). В нём измеряются силы взаимодействия между атомами зонда и атомами поверхности. В АСМ зонд прикреплен к концу кронштейна (плоской пружины) и его положение определяется именно величиной сил межатомного взаимодействия (рис. 21).

Своеобразной моделью принципа работы АСМ является чтение слепыми специальных печатных изданий, изготовленных на основе метода Брайля. Проводя по строчкам таких изданий, слепые люди осязают выпуклые буквы текста рецепторами пальцев — «читают» его.

¹ пА — пикоампер, 10^{-12} ампера. — Прим. ред.

МОЛЕКУЛЯРНОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ И ИЗМЕНЯЮЩИЕСЯ СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВ В НАНОМИРЕ. Геометрия, или архитектура, молекул обуславливает молекулярное распознавание.

Молекулярное распознавание — это способность одной молекулы притягивать другую молекулу, соответствующую первой структурно и энергетически, за счёт электростатических сил.

Молекулярное распознавание служит химической основой для работы рецепторов органов чувств, в первую очередь вкуса и обоняния. Действие биологических катализаторов белковой природы — **ферментов** также основано на молекулярном распознавании. Каждый фермент ускоряет только одну какую-либо реакцию или группу однотипных реакций. Эту их особенность называют *селективностью* (избирательностью). Она позволяет организму быстро и точно выполнить чёткую программу синтеза нужных ему соединений на основе молекул пищевых веществ или продуктов их превращения. Располагая богатым набором ферментов, клетка разлагает молекулы белков, жиров и углеводов до небольших фрагментов — мономеров (аминокислот, глицерина и жирных кислот, моносахаридов) и заново строит из них белковые и другие молекулы, которые будут точно соответствовать потребностям организма. Недаром великий русский физиолог *И. П. Павлов* (1849—1936) назвал ферменты носителями жизни. Ферменты, как правило, ускоряют однотипные реакции, и лишь немногие из них действуют на определённую, единственную реакцию. К таким абсолютно специфичным ферментам относится, например, уреазы, разлагающая одно-единственное вещество — мочевину.

В сырых овощах, сыром мясе, в крови содержится фермент каталаза, с помощью которого происходит разложение пероксида водорода:



А поскольку ферменты — катализаторы белковой природы, они, как и любые белки, подвергаются денатурации (изменению природной структуры) и теряют каталитическую активность.

Лабораторный опыт

В два химических стакана налейте по 3—5 мл раствора пероксида водорода. В первый стакан опустите кусочек сырого картофеля, во второй — кусочек варёного картофеля. Что вы наблюдаете в том и другом стакане?

В наномире меняются физические свойства веществ — цвет, температура плавления, там действуют другие законы. Например, с по-



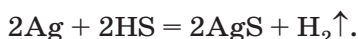
2 5 6 12 16 18 24 60 90 150 nm

Рис. 22. Изменение цвета у частиц золота в зависимости от их размера

мощью электронного сканирующего микроскопа можно увидеть изменение цвета коллоидных растворов золота (рис. 22). Коллоидные (микроскопические) частицы обычно состоят из большого числа молекул и ионов.

Первыми «нанотехнологами» были древние гончары и средневековые стеклодувы. Они оставили нам в наследство изумительные по цветовой гамме керамические изделия и великолепные цветные витражи церквей и дворцов.

В наномире изменяются и химические свойства некоторых веществ. Например, наноскопическое серебро способно реагировать с сероводородной кислотой с выделением водорода:



Одной из главных причин изменения химических и физических свойств вещества в наномире является увеличение числа атомов, находящихся на поверхности наночастицы, поэтому их химическая активность очень велика.

Такое необычное поведение веществ в наномире может иметь практическое применение — например, в хранении и передаче наследственной информации, в ориентировке живых организмов в пространстве, поисках питания, в тропизме (движении) у растений. Именно молекулярное распознавание лежит в основе реакций матричного синтеза — самоудвоения молекул ДНК и процессов биосинтеза белка.

Вы знаете

- ▶ что мир многообразен: выделяют мега- и макромир, микро- и наномир
- ▶ как изучают объекты мега-, макромира, микро- и наномира
- ▶ что такое молекулярное распознавание

Вы можете

- ▶ привести примеры объектов мега-, макро-, микро- и наномира и способы их изучения
- ▶ проиллюстрировать на примерах, как усовершенствовались на протяжении веков оптические приборы, аппараты, механизмы, помогающие людям в изучении мира

- объяснить, чем микромир отличается от наномира и что необычного происходит с законами физики, химии, биологии в наномире

Выполните задания

1. Назовите миры, которые различают в естествознании, приведите примеры объектов каждого мира.
2. Докажите, что наномир — особый мир.
3. Объясните, что такое молекулярное распознавание и какое значение оно имеет для живой природы.
4. Как соблюдаются закономерности химической, биологической и физической наук в макро- и микромирах?
5. Какое практическое значение имеет познание наномира?
6. Сравните принципы работы современных микроскопов (СТМ и АСМ).

Темы для рефератов

1. Современные открытия в астрономии, которые произвели сенсации в естествознании.
2. Атомный силовой и сканирующий туннельный микроскопы: принципы работы.
3. Наномир, его особенности и перспективы.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

1 Наблюдение за горящей свечой

Рассмотрение физических явлений, происходящих при горении свечи, представляет собой самый широкий путь, которым можно подойти к изучению естествознания...

М. Фарадей

Цель работы: наблюдать за горением свечи, распознавать физические явления, происходящие при этом, фиксировать результаты наблюдения.

Оборудование и реактивы: свеча, спички, тигельные щипцы, фарфоровая чашка, резиновая груша, стеклянная трубка с оттянутым концом, штатив, пробирки, два зеркала, транспортер, скотч, известковая вода.

Ход работы

Физические явления при горении свечи. Зажгите свечу. Обратите внимание на то, что парафин вокруг фитиля начинает образовывать небольшую лужицу. Сделайте вывод о том, какое явление происходит.

Возьмите изогнутую под прямым углом стеклянную трубку. Один её конец поместите в среднюю часть пламени, а другой опустите в пробирку с известковой водой. Что наблюдаете? Объясните происходящие явления.

Обнаружение продуктов горения парафина. Внесите фарфоровую чашку в светящуюся зону пламени свечи и подержите её там несколько секунд. Посмотрите на поверхность чашки. Объясните происходящие явления.

Сухую, желательно охлаждённую (но не запотевшую) пробирку закрепите в держателе горлышком вниз и немного наклонно и подержите над пламенем свечи до запотевания. Сделайте вывод о причинах наблюдаемого явления.

В стакан поместите свечу, подожгите её с помощью лучины. Через 2—3 минуты выньте свечу, налейте в стакан 2—3 мл известковой воды и встряхните. Что наблюдаете? Объясните происходящее явление.

Влияние воздуха на горение свечи. Вставьте стеклянную трубку с оттянутым концом в резиновую грушу. Сжимая грушу рукой, вдуйте в пламя горящей свечи воздух. Как изменилась яркость пламени? Почему?

Прикрепите две свечи при помощи расплавленного парафина к картону или фанере. Зажгите их и накройте химическими стаканами различного объёма (например, литровым и пол-литровым). В каком случае свеча горит дольше? Почему?

Многократное отражение свечи. Скрепите скотчем с обратной стороны два зеркала так, чтобы они образовали угол. Поставьте зажжённую свечу в центр транспорта (рис. 23),



Рис. 23. Многократное отражение свечи в двух зеркалах

а зеркала на транспорте так, чтобы они образовали угол 180° . Сколько отражений свечи вы наблюдаете? Несколько раз уменьшайте угол между зеркалами. Запишите, как изменяется количество отражений свечи.

Предложите возможности использования многократного отражения.

На основе наблюдений сделайте вывод о физических и химических явлениях, сопровождающих горение свечи.

2 Наблюдение за прорастанием семян фасоли

Эта работа рассчитана на несколько дней, её можно выполнять вдвоём или группами.

Цель работы: наблюдать за внешним изменением фасоли с течением времени и изменением её массы.

Оборудование и реактивы: блюдце или чашка Петри, марля, 2—3 семени фасоли, вода, весы (технические или электронные).

Ход работы

В чашку Петри или на блюдце положите свёрнутую в несколько слоёв марлю, налейте воды столько, чтобы она покрыла марлю. Положите на марлю семена фасоли, предварительно взвесив каждое. Блюдца с фасолью оставьте в кабинете естествознания на подоконнике.

Ведите ежедневное наблюдение за внешним видом семян. Фиксируйте в тетради изменения, происходящие с ними, ежедневно взвешивайте их (предварительно промокнув бумажной салфеткой) и результаты тоже заносите в тетрадь. Когда фасоль прорастёт и на проростке появятся маленькие сморщенные листочки, наблюдение можно закончить.

Зарисуйте семена в начале эксперимента и по его окончании.

Когда изменение массы семян фасоли было наиболее интенсивным?

Постройте график зависимости массы прорастающих семян фасоли от времени.

Сделайте вывод о причинах изменения массы фасоли.

3 Наблюдение за изменением состояния льда при нагревании

Цель работы: наблюдать явление плавления льда, описывать изменение состояния льда от температуры, делать выводы об изменении температуры льда в ходе плавления.

Оборудование и материалы: лёд, термометр, стеклянный стакан ёмкостью 50—100 мл, тряпочка.

Ход работы

Хорошо размельчите лёд, завернув его в тряпочку. Положите размельчённый лёд в стеклянный стакан.

Измерьте температуру льда и результат запишите в таблицу 4.

Измеряйте температуру льда через каждые 3—5 минут и фиксируйте агрегатное состояние воды, данные записывайте в таблицу.

Таблица 4

Момент времени, мин	Температура, °С	Агрегатное состояние

Постройте график зависимости температуры воды в разных агрегатных состояниях от времени.

глава



Мегамир





§ 8. Человек и Вселенная

1. Покажите на примерах, как менялись представления о системе мира с античных времён до XVII в.
2. Назовите имена учёных XVI—XVII вв., чей вклад в астрономию невозможно переоценить.
3. Дайте краткую характеристику достижений российской науки в области космонавтики.
4. Вспомните имена поэтов, художников, писателей, композиторов, режиссёров, чьи произведения о космосе, звёздах, действительных и воображаемых путешествиях к далёким планетам вам запомнились.

ПРИТЯЖЕНИЕ ДАЛЁКИХ ЗВЁЗД. Вспомните, как безоблачной летней ночью вы, запрокинув голову, не могли оторвать взгляд от завораживающего звёздного неба. Скольких художников, поэтов, писателей вдохновляло на создание великих произведений мерцание далёких звёзд, неведомых миров (рис. 24). Скольким путешественникам звёзды указывали верный путь к поставленной цели, скольким заплутавшим путникам помогли найти дорогу домой.

Я — сын Земли, дитя планеты малой,
Затерянной в пространстве мировом,
Под бременем веков давно усталой,
Мечтающей бесплодно о ином.

В. Брюсов



Рис. 24.
В. Ван Гог.
Звёздная ночь
над Роной.
1888 г.

Пожалуй, нет ничего более пугающе притягательного, бескрайне далёкого, доступного и недостижимого, чем мегамиры, в недрах которых родилось великое чудо — мерцающая пылинка по имени Земля.

Вы должны иметь представление о том, что такое галактика, звёзд-

ные скопления, звёзды, чёрные дыры, планеты, кометы и другие небесные тела, знать современные представления о строении и эволюции Вселенной. Это и многое другое вы узнаете из этой главы.



Мерцают созвездья в космической мгле,
Заманчиво светят и ясно,
Но люди привыкли жить на земле,
И эта привычка прекрасна.

В. Солоухин

НАТУРФИЛОСОФИЯ О ЗЕМЛЕ И ВСЕЛЕННОЙ. Вопрос о том, что представляет собой Вселенная, волновал человека ещё в древности. Никто не может точно сказать, когда зародилась одна из древнейших наук — астрономия.

Наши предки, будучи во многом зависимы от природных сил, обожествляли небесные тела — Солнце, Луну, звёзды. О них слагали мифы и легенды, им поклонялись, наделяли сверхъестественными способностями. Первые представления людей о мироздании были очень наивными: окружающий мир они делили на земной и небесный, противопоставляя эти две части друг другу.

Древнегреческий философ *Анаксимандр* (ок. 610—546 до н. э.) ввёл представление о Вселенной как о бесчисленных возникающих и гибнущих мирах. *Левкипп* (V в. до н. э.) и *Демокрит* считали, что Вселенная состоит из атомов (частиц) и пустоты.

В VI—IV вв. до н. э. сложилась так называемая **пифагорейская система мира**, где Земля и Солнце обращались вокруг некоторого «гигантского огня», причём Земля имела форму шара и вращалась вокруг своей оси.

Идеи о том, что Земля является центром Вселенной, получили название **геоцентрической системы мира**. Сторонником этих идей был *Аристотель*. Действительно, наблюдателю на Земле кажется, что он находится на неподвижной планете, а вокруг неё вращаются Солнце, Луна, планеты. Опираясь на геоцентрическую систему мира, греческий астроном и математик *К. Птолемей* (ок. 90—160 н. э.) создал математическую теорию видимого движения Солнца, Луны и планет. Точность теории обеспечивала возможность вычислять их положения на небе относительно звёзд на много лет вперёд, а также предсказывать наступление солнечных и лунных затмений. Его фундаментальный труд «Альмагест» в течение полутора тысяч лет служил учебником астрономии для всего научного мира.

Вместе с тем в III в. до н. э. *Аристарх Самосский* (320—250 до н. э.) предложил гелиоцентрическую теорию движения планет, которая

долгое время не имела поддержки. Во-первых, авторитет Аристотеля был непререкаем, а во-вторых, трудно было согласиться с тем, что Земля не является «центром мироздания», а сама движется вокруг Солнца.

АСТРОНОМИЯ В XVI—XVII ВВ. К теории Аристарха Самосского вернулся в XVI в. польский астроном Николай Коперник. Он и считается основоположником **гелиоцентрической системы мира**, которую в 1543 г. изложил в книге «Об обращениях небесных сфер» (рис. 25). Коперник считал, что в центре Вселенной находится Солнце, а Земля и другие планеты движутся вокруг него по круговым орбитам. Орбиты Меркурия и Венеры находятся ближе к Солнцу по сравнению с орбитой Земли, а Юпитера и Сатурна — дальше. Луна же вращается вокруг Земли, а Земля — вокруг собственной оси. Коперник даже вычислил расстояния планет от Солнца и периоды их обращения.

Учение Коперника было не просто большим шагом в астрономии, оно дало мощный стимул для развития всего естествознания, положило начало первой научной революции. Высказывать такие смелые мысли в Средние века было небезопасно. Коперник это прекрасно понимал, он писал: «Солнце является центром мироздания и, следовательно, неподвижно. Все считают, что это заявление нелепое и абсурдное с философской точки зрения и, кроме того, формально еретическое, так как выражения его во многом противоречат Священному Писанию, согласно буквальному смыслу слов, а также обычному толкованию и пониманию Отцов Церкви и учителей богословия».

Трагически оборвалась жизнь последователя Коперника, итальянского философа и учёного, писателя и поэта **Дж. Бруно** (1548—1600). Его догадки, значительно опередив эпоху, внесли неоценимый вклад в развитие астрономии. Он полагал, что звёзды представляют собой небесные тела, подобные нашему Солнцу, а в Солнечной системе существуют ещё не открытые планеты. Бруно утверждал, что

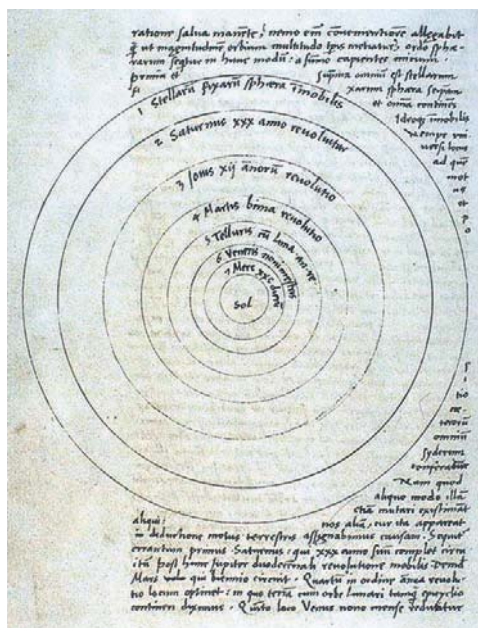


Рис. 25. Страница из рукописи Н. Коперника «Об обращениях небесных сфер» с изображением орбит планет Солнечной системы

Вселенная бесконечна и в ней существует множество миров. За своё вольномыслие он был осуждён католической церковью как еретик. Он провёл в тюрьме 8 лет, отказавшись отречься от своих убеждений. В приговоре инквизиционного трибунала Бруно был признан «нераскаившимся, упорным и непреклонным еретиком», отлучён от церкви и подвергнут «самому милосердному наказанию без пролития крови», т. е. сожжению живым на костре. В ответ на приговор Бруно заявил судьям: «Вероятно, вы с бóльшим страхом выносите мне приговор, чем я его выслушиваю. — И бросил в лицо своим палачам: — Сжечь — не значит опровергнуть!» 17 февраля 1600 г. он был казнён. Жизнь и смерть Джордано Бруно стали символом верности своим убеждениям.

Иную линию поведения по отношению к запретам религиозного мировоззрения выбрал в конце жизни соотечественник Бруно, выдающийся естествоиспытатель Галилей — последователь гелиоцентрической системы мира. Разглядев на Луне рельеф поверхности, горы, напоминающие земные, кратеры, Галилей убедительно доказывал неправомочность деления мира на земной и небесный. Учёный открыл спутники Юпитера, разглядел пятна на Солнце, доказал, что Венера вращается вокруг Солнца и, подобно Луне, меняет свои фазы. Галилей увидел, что Млечный Путь — это грандиозное скопление звёзд, не различимых невооружённым глазом.

В год казни Бруно Галилею было 34 года. Он не мог не знать о преследовании инквизицией столь революционных взглядов на устройство мира, но тем не менее продолжал пропагандировать свои идеи, приобретая всё большее число сторонников и последователей. Рано или поздно это должно было привести к серьёзному конфликту с католической церковью, и в 1633 г. Галилей предстал перед судом инквизиции (рис. 26). Под угрозой пыток он вынужден был отречься от своих убеждений, но, согласно преданию, по окончании суда произнёс свою знаменитую фразу: «И всё-таки она вертится!»

Галилей был приговорён к домашнему заключению, которое длилось 9 лет вплоть до его смерти.

Позиция церкви была двоякой. С одной стороны, она не признавала взгляды Коперника, но, с другой — пользовалась его открытиями для вычисления дат, к примеру Пасхи. Официально церковь признавала геоцентрическую систему Аристотеля, согласно которой Земля — центр нашей Вселенной. Нередко и учёные, которые пользовались для расчётов системой Коперника, официально его не признавали, боясь притеснения со стороны католической церкви.



Твердили пастыри, что вреден
И неразумен Галилей,
Но, как показывает время:
Кто неразумен, тот умней...

Зачем их грязью покрывали?
Талант — талант, как ни клейми.
Забыты те, кто проклинали,
Но помнят тех, кого кляли.

Е. Евтушенко



Рис. 26. К. Банти. Галилей перед судом инквизиции. 1857 г.

Надо сказать, что только по прошествии длительного времени запрет церкви на труды Галилея был снят. В 1979 г. папа Иоанн Павел II признал вину инквизиции по отношению к учёному. А в октябре 1992 г. Римско-католическая церковь наконец реабилитировала Галилео Галилея.

С каждым десятилетием знаний о Вселенной накапливалось всё больше, и никакие запреты не могли остановить развитие естественно-научной мысли. В последние десятилетия XVII в. в европейских странах учреждаются национальные академии наук и государственные астрономические обсерватории. Совершенствуются приборы и методы наблюдения, начинаются систематические измерения точных положений звёзд, а также изучение движения Луны. Всё это было необходимо для нужд морской навигации и картографирования Земли. По наблюдениям затмений спутника Юпитера важное открытие было сделано датским астрономом *О. Рёмером* (1644—1710). Проведённое им первое измерение скорости света имело огромное значение для развития астрономии и всего естествознания.



В следующем параграфе будет рассказано о законах движения небесных тел.

Вы знаете

- ▶ как развивалась астрономия с древних времён до конца XVII в.
- ▶ как и кем было проведено первое измерение скорости света
- ▶ в чём заключались революционные взгляды Дж. Бруно

Вы можете

- ▶ дать сравнительную характеристику теорий Клавдия Птолемея и Аристарха Самосского
- ▶ охарактеризовать геоцентрическое и гелиоцентрическое устройство мира

Выполните задания

1. Расскажите об эволюции представлений о Вселенной. Чем различаются геоцентрическая и гелиоцентрическая системы мира?
2. Используя этимологические словари, дайте толкование следующих терминов: геоцентрическая, гелиоцентрическая и антропоцентрическая системы мира.
3. Назовите имена писателей-фантастов и их произведения, посвящённые космическим путешествиям.

Темы для рефератов

1. Жизнь и деятельность Г. Галилея.
2. Развитие астрономии в XVII в.
3. М. В. Ломоносов — учёный-энциклопедист.
4. История открытия скорости света.

§ 9. Законы движения небесных тел

Расскажите о вкладе И. Ньютона в физику и астрономию.

ТРИ ЗАКОНА КЕПЛЕРА. Будучи современниками и единомышленниками — сторонниками гелиоцентрической системы мира, Кеплер и Галилей

вели активную переписку по многим научным проблемам: о телескопах, о движении планет и их наблюдениях.

Система мира, предложенная Коперником, позволила объяснить, почему движение планет (например, Марса) происходит по замысловатым петлеобразным траекториям (рис. 27). Причина состоит



Движенья нет, сказал мудрец брадатый.
Другой смолчал и стал пред ним ходить.
Сильнее бы не мог он возразить;
Хвалили все ответ замысловатый.
Но, господа, забавный случай сей
Другой пример на память мне приводит:
Ведь каждый день пред нами солнце ходит,
Однако ж прав упрямый Галилей.

А. Пушкин

в том, что и Земля и Марс обращаются вокруг Солнца, но с различной скоростью. Когда Земля догоняет, а затем и обгоняет Марс, мы видим, что его движение на звёздном небе постепенно замедляется, потом он как бы «останавливается», а затем отстаёт от Земли — начинает двигаться в обратном направлении. Коперник, как и все его современники, считал, что движение небесных светил может происходить равномерно и только по «совершенной» (идеальной)

кривой — окружности. Однако с течением времени расхождения между вычисленными и реальными положениями планет на небе становились всё более значительными. Установить причину этих расхождений удалось выдающемуся немецкому астроному и математику И. Кеплеру. На основе тщательного анализа многолетних наблюдений за движением Марса, проведённых датским астрономом *Т. Браге* (1546—1601), Кеплер открыл законы, которым подчиняется движение всех планет.

Первый закон Кеплера, называемый также законом эллипсов, был сформулирован учёным в 1609 г.

Все планеты Солнечной системы движутся по эллиптическим орбитам, в одном из фокусов которых находится Солнце.

Ближайшая к Солнцу точка *P* (рис. 28) траектории называется **перигелием**, точка *A*, наиболее удалённая от Солнца, — **афелием**. Расстояние между афелием и перигелием составляет большую ось эллиптической орбиты. Половина длины большой оси, полуось *a*, — это среднее расстояние от планеты до Солнца.

Форму эллипса, степень его отличия от окружности определяет соотношение c/a , где *c* — расстояние от центра эллипса до фокуса, *a* — большая полуось эллипса.

Чем больше это отношение, тем более вытянута орбита движения планеты, фокусы находятся дальше друг от друга. Если это отношение равно нулю (при $c = 0$, $\frac{c}{a} = 0$), то эллипс превращается в окружность, фокусы сливаются в одну точку — центр окружности.

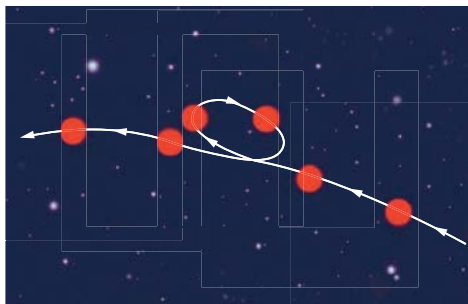


Рис. 27. Видимая с Земли траектория движения Марса относительно неподвижных звёзд



Иоганн Кеплер

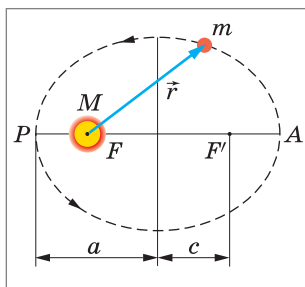


Рис. 28. Схема эллиптической орбиты движения планет: P — перигелий; A — афелий; a — среднее расстояние от планеты до Солнца; m — масса планеты; M — масса Солнца; F, F' — фокусы орбиты; $\vec{r}$ — радиус-вектор планеты; c — расстояние от центра эллипса до фокуса

точке её движения по орбите. В соответствии со вторым законом Кеплера площади выделенных цветом секторов равны между собой. Тогда получается, что за одинаковый промежуток времени планета про-

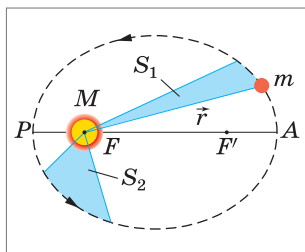


Рис. 29. Схема движения планет вокруг Солнца в равные промежутки времени: P — перигелий; A — афелий; m — масса планеты; M — масса Солнца; $\vec{r}$ — радиус-вектор планеты; S_1, S_2 — площади, описываемые радиусом-вектором планеты; F, F' — фокусы орбиты

Орбиты Земли и Венеры почти круговые, для Земли соотношение c/a составляет 0,0167, для Венеры — 0,0068. Орбиты других планет более сплюснутые. Наиболее вытянута орбита Меркурия, для которого $c/a = 0,2056$.

По эллиптическим орбитам движутся не только планеты вокруг Солнца, но и спутники (естественные и искусственные) вокруг планет. Ближайшая к Земле точка движения спутника называется **перигеем**, самая удалённая — **апогеем**.

На рисунке 29 проиллюстрирован **второй закон Кеплера**.

Радиус-вектор планеты описывает в равные промежутки времени равные площади.

Из рисунка понятно, что радиус-вектор — это отрезок, соединяющий фокус орбиты (по сути, центр Солнца) и центр планеты в любой точке её движения по орбите. В соответствии со вторым законом Кеплера площади выделенных цветом секторов равны между собой. Тогда получается, что за одинаковый промежуток времени планета про-

ходит по орбите разное расстояние, т. е. скорость движения не постоянна: $v_2 > v_1$.

Третий закон Кеплера (гармонический) записывают следующим образом.

Квадраты периодов обращения двух планет вокруг Солнца относятся друг к другу, как кубы больших полуосей их орбит.

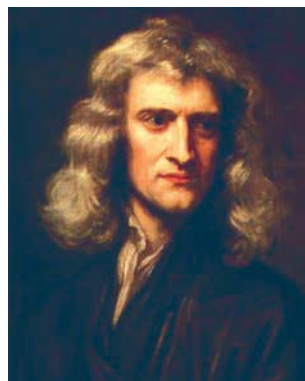
Помня, что длина большой полуоси орбиты считается средним расстоянием от планеты до Солнца, запишем математическое выражение третьего закона Кеплера:

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

где T_1, T_2 — периоды обращения планет 1 и 2; a_1, a_2 — среднее расстояние от планет 1 и 2 до Солнца.

Третий закон Кеплера выполняется как для планет, так и для спутников, с погрешностью не более 1%.

Сам Кеплер особенно важным считал третий закон. Пользуясь им, можно вычислить относительные расстояния планет от Солнца, используя для этого уже известные периоды их обращения. Следовательно, не было необходимости измерять расстояние от Солнца до каждой планеты. Достаточно было измерить только расстояние от Земли до Солнца. Именно его величину — *астрономическую единицу* (а. е.) — принято использовать для измерения расстояний в Солнечной системе.



Г. Кнеллер. Портрет Исаака Ньютона. 1689 г.

ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ. Что же заставляет планеты двигаться вокруг Солнца, почему они не разлетаются в разные стороны в безбрежные просторы Вселенной? Оказывается, управляет движением небесных тел **закон всемирного тяготения**, открытый И. Ньютоном в 1682 г.

Сила тяготения между двумя телами прямо пропорциональна произведению масс этих тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними.

Именно гравитация заставляет предметы падать на землю, удерживает нас на поверхности планеты, не отпускает Луну и искусственные спутники Земли в свободный полёт, а самой планете предписывает движение вокруг Солнца. Таким образом, научное обоснование эмпирических законов Кеплера дал выдающийся английский физик, математик и астроном Исаак Ньютон, один из основоположников классической физики.

Идея о взаимном притяжении тел высказывалась и до Ньютона, однако только он сумел облечь закон в строгую математическую форму:

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

где F — сила тяготения; G — гравитационная постоянная ($6,67 \times 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$); m_1, m_2 — массы тел; r — расстояние между двумя телами (рис. 30).

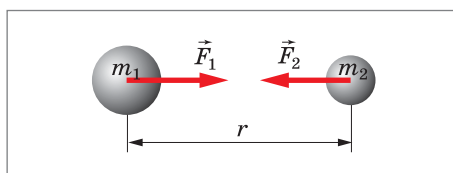


Рис. 30. Интерпретация закона всемирного тяготения

Вам известно из курса физики основной школы, что частным проявлением силы тяготения является сила тяжести:

$$\vec{F}_{\text{тяж}} = m\vec{g},$$

где g — ускорение свободного падения. Вблизи поверхности Земли $g = 9,8 \text{ м/с}^2$. Ускорение свободного падения у поверхности различных планет и их спутников имеет разные значения. Например, на Луне величина g равна $1,62 \text{ м/с}^2$, на Марсе — $3,71 \text{ м/с}^2$, на Юпитере — $24,8 \text{ м/с}^2$.

ПЕРВАЯ, ВТОРАЯ, ТРЕТЬЯ И ЧЕТВЁРТАЯ КОСМИЧЕСКИЕ СКОРОСТИ. На основе закона всемирного тяготения Ньютон доказал, что под действием гравитации одно небесное тело может двигаться относительно другого по круговой, эллиптической, параболической или гиперболической орбитам (рис. 31). Применительно к запуску космического корабля с поверхности Земли закон позволяет рассчитать начальные скорости, при которых этот корабль будет иметь различные траектории дальнейшего движения.

Чтобы преодолеть силу земного тяготения и превратиться в искусственный спутник Земли,двигающийся вокруг неё по круговой орбите корабль должен развить **первую космическую скорость**: $v_1 = 7,9 \text{ км/с}$. При дальнейшем увеличении скорости орбита движения приобретает всё более и более вытянутый, эллиптический характер вплоть до достижения **второй космической скорости**: $v_2 = 11,2 \text{ км/с}$. Она позволяет космическому кораблю преодолеть земное тяготение, уйти на орбиту движения вокруг Солнца в его гравитационном поле, т. е. превратиться в миниатюрную планету Солнечной системы. А вот

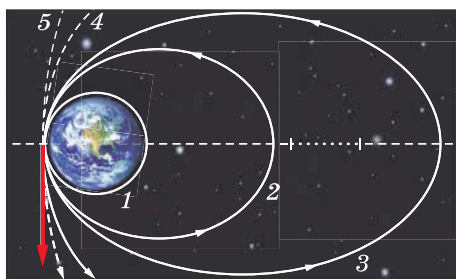


Рис. 31. Траектории движения спутника при различных скоростях: 1 — круговая; 2—3 — эллиптические; 4 — параболическая; 5 — гиперболическая

для того чтобы покинуть пределы Солнечной системы, преодолеть гравитационное притяжение Солнца, межзвёздный корабль должен развить **третью космическую скорость**: $v_3 = 16,6 \text{ км/с}$.

Четвёртая космическая скорость — это минимально необходимая скорость тела, позволяющая преодолеть притяжение Галактики и покинуть её пределы.

По оценкам, в районе Солнца четвёртая космическая скорость составляет около 550 км/с .



В следующем параграфе мы поговорим о современных методах исследования Вселенной.

Вы знаете

- ▶ закономерности движения небесных тел
- ▶ три закона Кеплера
- ▶ закон всемирного тяготения

Вы можете

- ▶ назвать законы, которым подчиняется движение небесных тел
- ▶ сформулировать законы Кеплера
- ▶ сформулировать закон всемирного тяготения Ньютона
- ▶ объяснить, какую скорость нужно развить космическому кораблю, чтобы преодолеть силу земного тяготения
- ▶ показать связь между скоростью и формой орбиты, по которой движется космический корабль

Выполните задания

1. Рассчитайте продолжительность марсианского года (в земных сутках), если известно, что Марс находится в 1,5 раза дальше от Солнца, чем Земля.
2. Определите, во сколько раз Уран дальше находится от Солнца, чем Земля, если он делает оборот вокруг Солнца за 84 земных года.
3. Найдите в Интернете динамическую модель, иллюстрирующую законы Кеплера. Задайте исходные параметры орбиты спутника Земли (расстояние в перигее и начальную скорость), запишите в тетрадь остальные параметры движения из информационного окна. Убедитесь в эллиптической форме орбиты спутника.
4. Рассчитайте силу тяжести, которая будет действовать на вас при «прогулке по Луне».
5. Если бы чемпионат по прыжкам в высоту проходил на Луне, как изменились бы рекорды? Ответ поясните.

Темы для рефератов

1. Жизнь и деятельность И. Кеплера.
2. Жизнь и деятельность И. Ньютона.

§ 10. Приборы и аппараты для изучения Вселенной

1. Перечислите известные вам астрономические инструменты.
2. Назовите открытия, сделанные учёными с помощью телескопа.

ИЗ ИСТОРИИ СОЗДАНИЯ ТЕЛЕСКОПА. Многие выдающиеся открытия в астрономии свершились после того, как человек впервые взглянул на небо через окуляр телескопа.

В 1608 г. голландский оптик, мастер по производству очков *И. Липперсгей* (ок. 1570—1619) продемонстрировал своё изобретение — подзорную трубу. Именно этот год и считается годом открытия телескопа, хотя, вероятно, подзорные трубы были известны ранее. Чертежи простейшего линзового телескопа были обнаружены ещё в рисунках Леонардо да Винчи, датированных 1509 г.

Одним из первых, кто направил зрительную трубу в небо, был, как известно, Галилей. В 1609 г. он изготовил первый телескоп с 3-кратным увеличением, затем приборы с 8-кратным и 32-кратным увеличением. Длина последнего была уже 1,25 м, а диаметр объектива около 4,5 см.

ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ТЕЛЕСКОПОВ. Телескоп необходим для того, чтобы собрать как можно больше света от наблюдаемого объекта и раз-

личить его мелкие детали. *Объективом*, который собирает свет, могут служить стеклянные линзы или вогнутые зеркала. Телескоп, объектив которого состоит из линз, называют **рефрактором**, а телескоп с зеркальным объективом — **рефлектором**. Объектив создаёт уменьшенное изображение наблюдаемого объекта, и наблюдатель рассматривает его изображение в окуляре, как в лупу. На рисунке 32 изображена схема телескопа-рефрактора, предложенная И. Кеплером. В таком



Полночных солнц к себе нас манят светы...
В колодцах труб пыливый тонет взгляд.
Алмазный бег вселенные стремят:
Системы звёзд, туманности, планеты,

От Альфы Пса до Веги и от Бэты
Медведицы до трепетных Плеяд —
Они простор небесный бороздят,
Творя во тьме свершенья и обеты.

О, пыль миров! О, рой священных пчёл!
Я исследил, измерил, взвесил, счёл, —
Дал имена, составил карты, сметы...

Но ужас звёзд от знания не потух.
Мы помним всё: наш древний, тёмный дух,
Ах, не крещён в глубоких водах Леты!

М. Волошин

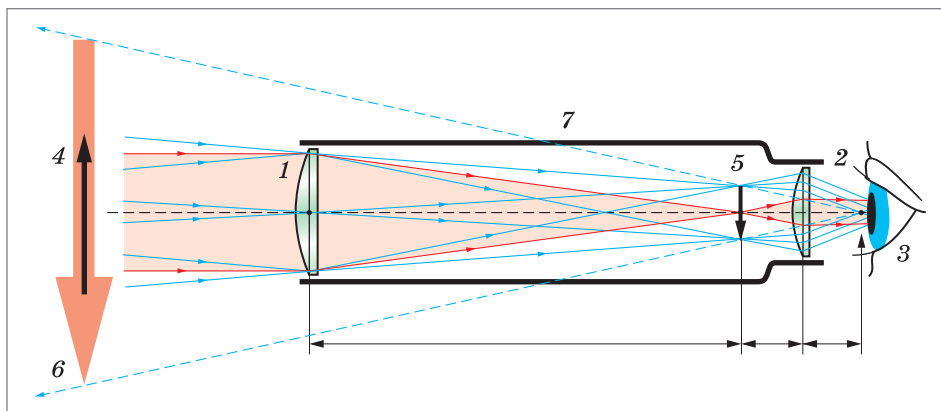


Рис. 32. Схема устройства линзового телескопа Кеплера: 1 — объектив (собирающая линза); 2 — окуляр (собирающая линза); 3 — глаз; 4 — объект; 5 — промежуточное изображение; 6 — увеличенное перевернутое изображение; 7 — корпус телескопа

телескопе изображение наблюдаемого объекта является перевернутым. Самый большой телескоп такого типа находится в Йеркской обсерватории в США, диаметр его линзы составляет 102 см (рис. 33).

Большинство современных телескопов — рефлекторы (рис. 34). Первый телескоп этого типа был построен И. Ньютоном в 70-х гг. XVII в. До начала XXI в. самым большим зеркальным телескопом в мире считался российский телескоп БТА, установленный в 1976 г. в горах Кавказа, диаметр его главного зеркала — 6 м. На сегодняшний день самым большим зеркальным телескопом является «Gran Telescopio Canarias» с диаметром главного зеркала 10,4 м, установленный в 2002 г. на Канарских островах.



Рис. 33. Телескоп Йеркской обсерватории

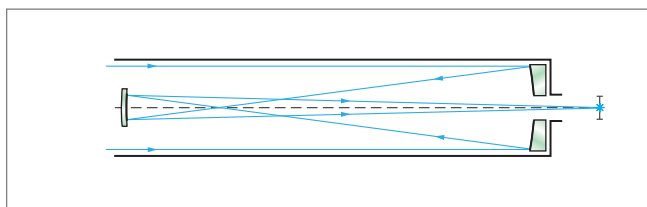


Рис. 34. Ход лучей в зеркальном телескопе

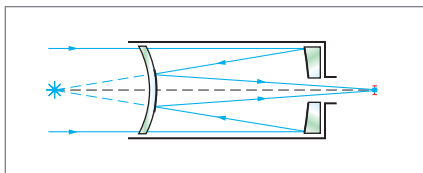


Рис. 35. Ход лучей в зеркально-линзовом телескопе

В настоящее время используется много различных систем телескопов со сложными объективами из линз и зеркал. Схема одного из них показана на рисунке 35. Неотъемлемой частью современного телескопа являются приёмники света, которые полностью заменили глаз астронома-наблюдателя. Изображение объекта,

которое получено с помощью телескопа, фиксируется фотопластинкой или ПЗС (прибором с зарядовой связью). Эти ПЗС аналогичны тем, которые используются в современных цифровых фотоаппаратах.

Но небесные тела излучают не только в оптическом диапазоне длин волн. Их излучение приходится и на другие области спектра: инфракрасный, ультрафиолетовый, рентгеновский, радио- и гамма-излучение. Приборы для приёма и регистрации этих видов излучения тоже называют телескопами.

РАДИОТЕЛЕСКОПЫ. Для исследования радиоизлучения космических объектов применяют радиотелескопы. Основными элементами радиотелескопов являются принимающая антенна и очень чувствительное приёмное устройство — радиометр. Конструкция антенн радиотелескопов даёт возможность получить больше информации в достаточно широком диапазоне длин волн (от 1 мм до 30 м). Чаще всего антенны радиотелескопов представляют собой параболические отражатели, подобные зеркалам обычных оптических рефлекторов, которые фокусируют радиосигнал на радиометр. Радиометр усиливает принятое антенной радиоизлучение и преобразует его в форму, удобную для регистрации и дальнейшей обработки.

Крупнейший отечественный радиотелескоп РАТАН-600 (рис. 36) установлен там же, где БТА, в горах Северного Кавказа недалеко от станции Зеленчукская. Местоположение выбрано не случайно:



Рис. 36. Российский радиотелескоп РАТАН-600

здесь в окружении гор, на высоте 970 м над уровнем моря, в южных широтах России практически круглый год ясное, безоблачное небо, а отсутствие поблизости больших населённых пунктов минимизирует влияние посторонних техногенных радиошумов. Телескоп состоит из 895 отражателей радиоволн, установленных по кольцу диаметром 576 м. С помощью этого уникаль-

ного сооружения постоянно осуществляется исследование излучения Солнца, звёзд, галактик и иных космических объектов, изучение химического состава, магнитных полей небесных тел и многое другое.

КОСМИЧЕСКИЙ ТЕЛЕСКОП «ХАББЛ». Значительная часть электромагнитного излучения небесных тел поглощается атмосферой Земли и не доходит до её поверхности. А это означает, что для более детального изучения космоса телескопы необходимо выводить за пределы земной атмосферы, что стало возможным благодаря началу космической эры — успешному запуску космических аппаратов.

Наиболее известной автоматической обсерваторией, выведенной на околоземную орбиту, является космический телескоп «Хаббл» (рис. 37), названный в честь выдающегося американского астронома. Основным элементом телескопа является тщательно отполированное зеркало диаметром 2,4 м. Представьте себе: допустимая шероховатость поверхности не должна была превышать $\frac{1}{20}$ длины волны принимаемого излучения! Если проводить наблюдение в видимом диапазоне с длиной волны примерно 600 нм, то глубина «бороздки» на зеркале не должна превышать 30 нм. Сопоставимая по сложности задача: «отполировать» поверхность земли площадью с Москву с отклонением от идеальной сферы не более 6 см.

Вот уже несколько десятилетий космический телескоп «Хаббл» находится на околоземной орбите примерно в 560 км от поверхности Земли. За годы работы им передано на Землю более миллиона высококачественных изображений нескольких десятков тысяч небесных объектов — звёзд, туманностей, галактик (рис. 38), планет, а общий объём цифровой информации, накопленной за всё время работы телескопа, превышает 20 терабайт.

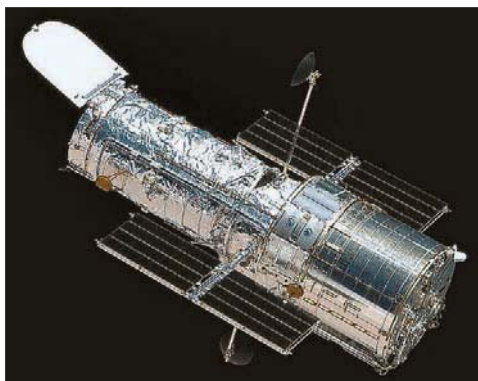


Рис. 37. Космический телескоп «Хаббл» (снимок с корабля «Атлантис»)



Рис. 38. Снимок галактики M100, сделанный телескопом «Хаббл»

Более 3900 астрономов получили возможность использовать его для наблюдений, опубликовано около 4000 статей в научных журналах. С помощью «Хаббла» впервые были получены карты поверхности Плутона, наблюдались ультрафиолетовые полярные сияния на Сатурне и Юпитере, получены данные о планетах вне Солнечной системы, подтверждена теория о сверхмассивных чёрных дырах в центрах галактик, уточнён возраст Вселенной.

ВКЛАД КОСМОНАВТИКИ В ИЗУЧЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ. Основоположителем космонавтики является выдающийся русский учёный *К. Э. Циолковский* (1857—1935). Автор более 400 научных работ, он внёс огромный вклад в теорию реактивного движения, обосновал возможность



Константин Эдуардович
Циолковский

полёта в космос на ракетном корабле, рассчитал скорость корабля, необходимую для преодоления гравитационного притяжения Земли и выхода ракеты в Солнечную систему (вторая космическая скорость). Практическая реализация идей великого учёного впервые произошла именно в нашей стране: 4 октября 1957 г. был запущен первый искусственный спутник Земли. И конечно, нельзя не вспомнить о том, что первым человеком, совершившим космический полёт 12 апреля 1961 г., стал наш соотечественник *Ю. А. Гагарин* (1934—1968). С тех пор уже более 500 человек работали на околоземной орбите и 12 астронавтов побывали на поверхности Луны.

МЕЖПЛАНЕТНЫЕ СТАНЦИИ, ИХ ВКЛАД В ИЗУЧЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ. Незаменимыми помощниками учёных в изучении космического пространства являются автоматические межпланетные станции. Запуск первой автоматической межпланетной станции «Луна-1» был осуществлён Советским Союзом 2 января 1959 г. Эта станция приблизилась к поверхности Луны на расстояние 6000 км, а затем вышла на гелиоцентрическую орбиту и стала первым искусственным спутником Солнца с периодом обращения примерно 450 сут.

«Луна-1» передала на Землю ценнейшую для того времени информацию о радиационных и магнитных полях Земли и Луны, провела первые измерения параметров так называемого *солнечного ветра* (потока ионизированных частиц, вытекающих из солнечной короны), передала детальные фотографии лунной поверхности.

Объектами исследования автоматических межпланетных станций являются планеты Солнечной системы, их спутники, астероиды, кометы и т. п. При этом обычно производится фотографирование, изучение рельефа, измерение магнитного поля, радиации, температуры,

определение химического состава атмосферы и грунта другой планеты, космического пространства вблизи неё.

Необходимо отметить, что сложнейшие технологии проектирования, изготовления, запуска и эксплуатации межпланетных станций доступны лишь немногим высокоразвитым странам мира, среди которых Россия, США, Япония, страны Евросоюза, Китай и Индия.



Но пора познакомиться с природой небесных тел, и об этом — в следующем параграфе.

Вы знаете

- ▶ историю создания телескопа
- ▶ принцип работы линзовых, зеркальных, линзово-зеркальных телескопов и радиотелескопов

Вы можете

- ▶ объяснить принцип работы основных типов телескопов
- ▶ назвать крупнейшие российские и зарубежные оптические и радиотелескопы
- ▶ на примере телескопа «Хаббл» показать, какой вклад в науку был сделан учёными с помощью космических телескопов и автоматических межпланетных станций

Выполните задания

1. Рассмотрите схемы устройства и объясните принцип работы линзового, зеркального и зеркально-линзового телескопов.
2. Объясните принцип работы радиотелескопа. Какие открытия в астрономии были сделаны с его помощью?
3. Прочитайте фантастический рассказ А. Кларка «Солнечный ветер». Ответьте, за счёт чего приводились в движение космические корабли, участвующие в гонках будущего. Какая идея, высказанная Кларком в 1945 г., предвосхитила организацию глобальной системы связи и практически всех систем коммуникации, в том числе Интернета?

Темы для рефератов

1. История изобретения телескопа и первые открытия в астрономии, сделанные с его помощью. 2. Космические телескопы «Комптон», «Чандра», «Спитцер» и их роль в исследовании астрономических объектов. 3. Крупнейшие оптические телескопы на Земле. 4. Автоматические межпланетные станции и их вклад в изучение Вселенной.

§ 11. Солнце. Звёзды

Объясните, почему многие древние народы поклонялись Солнцу.

СОЛНЦЕ. Наше Солнце — одна из миллиардов звёзд. Есть звёзды, значительно большие, чем Солнце, — гиганты, есть звёзды и меньше Солнца — карлики.

Масса Солнца $2 \cdot 10^{30}$ кг, т. е. 333 000 масс Земли, что больше 99% суммарной массы всей Солнечной системы. Средний диаметр $1,4 \cdot 10^9$ м, что составляет 109 диаметров Земли. Среднее расстояние от Земли до Солнца 150 млн км. Плотность вещества Солнца 1400 кг/м^3 .

Светимость Солнца — мощность его излучения составляет $4 \cdot 10^{26}$ Вт.

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ. В изучении состава и строения Солнца и звёзд важнейшую роль сыграл спектральный анализ, который был открыт во второй половине XIX в., а теперь нашёл широкое применение во всех естественных науках и во многих областях техники и технологии. Заслуга его открытия принадлежит двум немецким учёным — физику *Г. Р. Кирхгофу* (1824—1887) и химику *Р. В. Бунзену* (1811—1899). Для анализа химического состава веществ они предложили прибор, называемый спектроскопом (рис. 39).

Существует несколько видов спектров. **Непрерывный** (или сплошной) спектр, который дают сильно нагретые твёрдые тела и жидкости (а при достаточно большом давлении и газы). В этом случае белый свет, проходя через стеклянную призму, преломляется, и на экране видна сплошная радужная полоска. Каждому «простому» цвету (красный, оранжевый, жёлтый, зелёный, голубой, синий и фиолетовый) соответствуют волны определённой длины. Показатель преломления стекла (скорость света в этой среде) зависит от длины волны излучения.

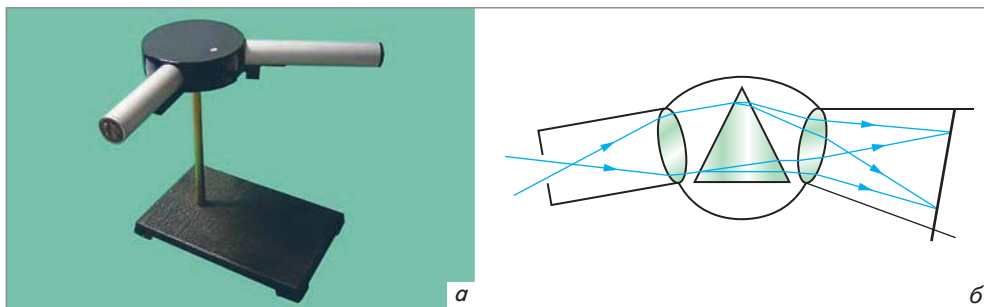


Рис. 39. Спектроскоп двухтрубный (а) и ход лучей в двухтрубном спектроскопе (б)

Линейчатый спектр испускания состоит из отдельных ярких линий на тёмном фоне. Такой спектр характерен для нагретых атомарных газов при низком давлении. Положение линий в спектре соответствует определённым длинам волн излучения этого вещества.

Линейчатый спектр поглощения создаёт газ, находящийся перед более горячим источником непрерывного излучения. В этом случае тёмные линии (линии поглощения) в спектре источника приходятся в точности на те же самые длины волн, что и линии излучения этого газа. Любое вещество поглощает преимущественно излучение тех длин волн, которое само способно излучать.

Излучение солнечного спектра ещё в начале XIX в. показало, что спектр Солнца является именно спектром поглощения, в котором положение тёмных линий остаётся неизменным. Стало быть, свет, излучаемый более горячими слоями Солнца, поглощается веществом внешних, более холодных его слоёв.

Поскольку каждому элементу соответствует определённый набор ярких цветных линий, то по спектру можно определить химический состав вещества и, соответственно, химический состав Солнца. Именно при анализе спектра Солнца на нём был открыт элемент гелий. В среднем в звёздах на 10 000 атомов водорода приходится 1000 атомов гелия, 5 — кислорода, 2 — азота, 1 — углерода, остальных элементов ещё меньше. Спектральный анализ показывает, что в менее горячих звёздах содержатся различные металлы, а также углерод и органические соединения. Поскольку температура газа очень высокая, то он ионизован и находится в состоянии высокотемпературной плазмы.

» **Напомним**, что *плазма* — это четвёртое состояние вещества, когда газ ионизован, а концентрация положительных и отрицательных зарядов одинакова. Плазма может быть низкотемпературной и высокотемпературной.

Изучение физических процессов, происходящих на Солнце, имеет важное значение для астрофизики, поскольку эти процессы, очевидно, характерны и для других звёзд, но только на Солнце мы можем наблюдать их достаточно детально.

Развитие теоретической физики в XX в. обеспечило возможность определять не только химический состав, но и температуру Солнца, характеристики магнитного поля в различных его областях, а главное — рассчитать его внутреннее строение — создать модель Солнца и провести её проверку на основе наблюдений. Вот как выглядит эта модель (рис. 40).

В центральной части Солнца — его ядре — температура превышает 14 млн К, а плотность достигает $1,5 \cdot 10^5$ кг/м³. Здесь в результате термоядерной реакции превращения ядер атомов водорода в ядра атомов гелия выделяется колоссальное количество энергии. Ядро окружает

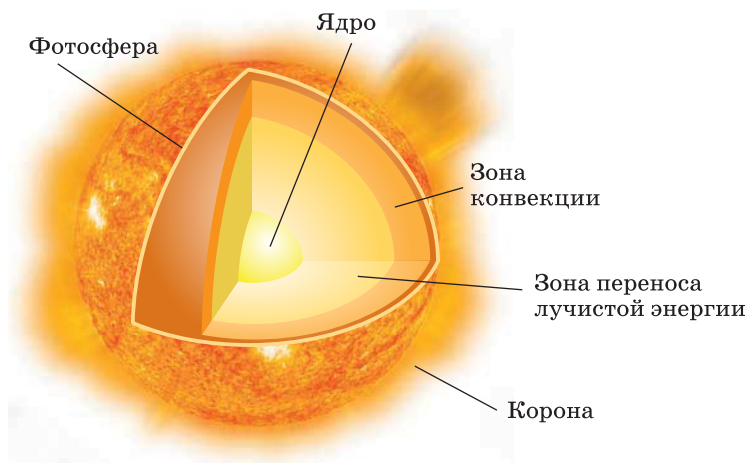


Рис. 40. Строение Солнца

«лучистая» зона, в которой энергия передаётся наружу от слоя к слою в результате последовательного поглощения и излучения квантов. Над ней находится **конвективная зона**, где энергия от слоя к слою переносится самим веществом в результате перемешивания (конвекции). Каждая из этих зон занимает примерно $\frac{1}{3}$ солнечного радиуса.

Сразу за конвективной зоной начинается атмосфера, которая простирается далеко за пределы видимого диска Солнца. Самый нижний слой атмосферы — **фотосфера**, которая воспринимается как поверхность Солнца. В фотосфере температура составляет порядка 6000 К. Следствием конвективного движения вещества в верхних слоях Солнца является своеобразный вид фотосферы — *грануляция* (рис. 41).

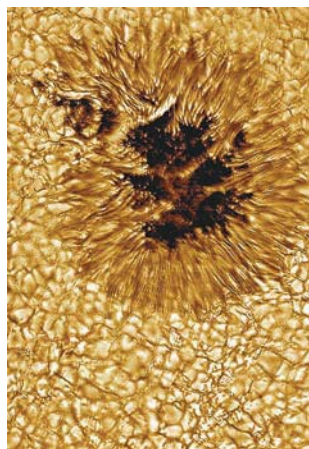


Рис. 41. Гранулы и пятно на Солнце

Размеры гранул могут достигать 1—2 тыс. км, а время жизни — 5—10 минут. Горячая плазма, поднимающаяся вверх, выглядит как более светлая, а остывшая, опускающаяся обратно, — как более темная.

Над фотосферой располагается **хромосфера**, толщина которой 10—15 тыс. км, а далее на миллионы километров (несколько радиусов Солнца) простирается **солнечная корона**. Корону можно наблюдать во время полных солнечных затмений как жемчужно-серебристое сияние (рис. 42). Температура в короне повышается до 1—2 млн кельвинов, а затем очень медленно снижается.

Плотность вещества по мере удаления от Солнца постепенно уменьшается, а потоки плазмы из короны (солнечный ветер) растека-

ются по всей планетной системе. Земля фактически находится в солнечной короне, поэтому многие геофизические явления испытывают на себе влияние процессов, происходящих на Солнце, — солнечной активности.

В атмосфере Солнца наблюдаются многообразные проявления солнечной активности, характер протекания которых определяется поведением солнечной плазмы в магнитном поле — пятна, вспышки, протуберанцы, корональные выбросы и т. п. Все эти проявления наблюдаются с периодом, который в среднем составляет 11,2 года.

Пятна появляются в тех сравнительно небольших областях фотосферы Солнца, где магнитное поле усиливается в несколько тысяч раз по сравнению с общим фоном, и его индукция может достигать 0,4—0,5 Тл. Усиление магнитного поля препятствует нормальной конвекции, плазма, остывшая до 4000 К, выглядит, как тёмное пятно, поперечник которого может достигать нескольких десятков тысяч километров.

Наиболее крупными по своим масштабам проявлениями солнечной активности являются наблюдаемые в солнечной короне протуберанцы (рис. 43) и корональные выбросы. Это огромные по объёму облака плазмы, масса которых может составлять несколько миллиардов тонн. Мощными проявлениями солнечной активности являются вспышки,

» **Напомним**, что *магнитная индукция* — силовая характеристика магнитного поля; модуль вектора магнитной индукции (B) — физическая величина, равная отношению силы (F), действующей на проводник с током, помещённый в это магнитное поле, к длине (l) проводника и силе тока (I) в нём: $B = F/Il$.

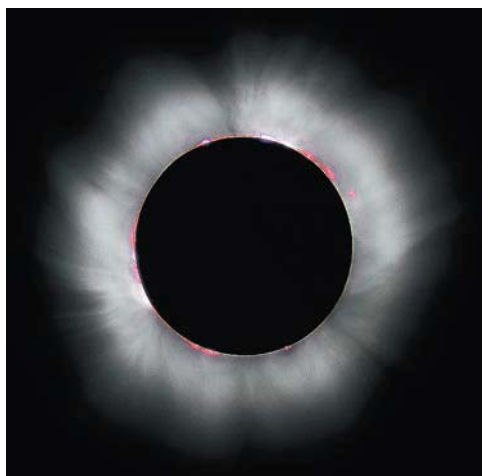


Рис. 42. Вид солнечной короны во время полного солнечного затмения

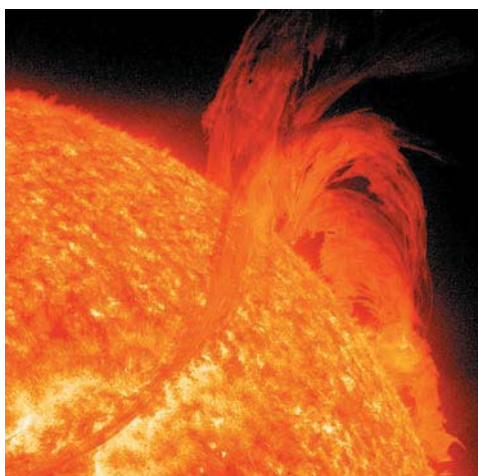


Рис. 43. Солнечный протуберанец

в процессе которых за несколько минут иногда выделяется энергия до 10^{25} Дж (такова энергия примерно миллиарда атомных бомб).

Потоки плазмы, образующиеся во время вспышки, через сутки-двое достигают окрестностей Земли. Магнитосфера нашей планеты отклоняет и задерживает потоки, идущие от Солнца, так что только незначительная их часть попадает в земную атмосферу. Однако даже этого достаточно, чтобы вызывать геомагнитные бури, полярные сияния и другие геофизические явления. Они негативно сказываются на работе средств связи и линий передачи электроэнергии, а также отрицательно воздействуют на живые организмы, вызывают плохое самочувствие у метеозависимых людей.

ЗВЁЗДЫ. В настоящее время в астрономии принято такое определение звезды.

Звезда — это космическое тело, в котором в значительных масштабах происходили, происходят или будут происходить термоядерные реакции превращения водорода в гелий.

Термоядерные реакции могут происходить только в том случае, когда масса космического тела превышает некоторый нижний предел. Так, например, масса планеты Юпитер (она составляет примерно 0,001 массы Солнца) недостаточно велика для того, чтобы он стал звездой.

Подавляющее число звёзд находится в состоянии гидростатического и теплового равновесия. Увеличение энергии, выделяющейся при термоядерных реакциях в ядре звезды, приводит к её расширению и уменьшению давления, вследствие чего температура ядра снижается. При этом скорость протекания реакций, которая зависит от температуры, уменьшается. Поступление энергии также уменьшается, вещество звезды охлаждается, и звезда приходит в равновесие. Можно считать, что звезда обладает отрицательной теплоёмкостью. Если же по какой-то причине скорость реакций уменьшается, то звезда сжимается, и вследствие сжатия и повышения температуры увеличивается скорость термоядерных реакций. Длительность такого процесса всего несколько десятков минут. Иначе говоря, с точки зрения физики, звезда — самоуправляемый термоядерный реактор.

Именно за счёт слияния ядер атомов химических элементов, главным образом ядер водорода с образованием ядер атомов гелия (это и есть термоядерная реакция), выделяется гигантское количество энергии. По своему физическому состоянию звёзды представляют собой массивные светящиеся газовые (плазменные) шары. Температура вещества в недрах звёзд измеряется миллионами градусов, а на их поверхности — тысячами градусов. Именно звёзды представляют собой основную массу светящегося вещества во Вселенной.

Когда человек хочет образно подчеркнуть большое количество чего-либо, он говорит: «Столько, сколько звёзд на небе». А на самом деле сколько их? Ответ на этот вопрос неоднозначный. Оказывается, невооружённым глазом на небе можно увидеть всего-то около 6000 звёзд. Общее же количество звёзд во Вселенной даже трудно оценить.

Ближайшей к Земле звездой (не считая Солнца) является Проксима Центавра. Она расположена на расстоянии 4,2 световых лет от нашей Солнечной системы.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВЁЗД. Основными характеристиками звёзд являются светимость и спектральный класс.

Светимость — это количество энергии, излучаемой звездой в единицу времени.

Спектры поглощения используют для классификации звёзд по спектральным классам.

Спектральный класс — это характеристика звезды, связанная с её температурой, светимостью, цветом и видом спектра.

Звёзды разделены на десять спектральных классов, которые обозначаются буквами W, O, B, A, F, G, K, M, L, T. В таблице 5 приведены наиболее распространённые спектральные классы звёзд, соответствующие этим классам цвет звезды и её температура.

Таблица 5
СПЕКТРАЛЬНАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ЗВЁЗД

Спектральный класс	Цвет	Температура, К	Примеры звёзд
O	голубой	30 000—60 000	Спика, Беллатрикс
B	бело-голубой	10 000—30 000	Регул
A	белый	7500—10 000	Сириус
F	бело-жёлтый	6000—7500	Альтаир
G	жёлтый	5000—6000	Солнце
K	оранжевый	3500—5000	Арктур, Альдебаран
M	красный	2000—3500	Антарес, Бетельгейзе

Горячие звёзды спектральных классов О и В имеют температуру верхних слоёв звезды 10 000 К и выше и голубой цвет. У звёзд, сходных с нашим Солнцем, спектральный класс G и цвет жёлтый. Холодные звёзды красного цвета с температурой верхних слоёв 3000 К относятся к спектральному классу М.

На рисунке 44 приведена диаграмма, на которой по горизонтальной оси показан спектральный класс звезды, а по вертикальной — её светимость. Из диаграммы следует, что с ростом температуры верхних слоёв растёт и светимость звезды. Плавная кривая, которая идёт из верхнего левого угла в правый нижний угол, называется **главной последовательностью**. На главной последовательности находятся звёзды, источником энергии которых является термоядерная реакция синтеза гелия из водорода. К этой последовательности принадлежит большинство звёзд (в том числе Солнце и Сириус). Масса звёзд главной последовательности лежит в пределах от 0,05 массы Солнца до 100 масс Солнца.

Пример **красного гиганта** — звезда Арктур (α Волопаса), её радиус равен 25 солнечным радиусам, светимость превышает солнечную в 140 раз (на рис. 44 — в правом верхнем углу).

Выше звёзд-гигантов на диаграмме находятся **сверхгиганты** (например, звезда Антарес — α Скорпиона). Было обнаружено несколько ярких молодых звёзд с температурой верхних слоёв выше 40 000 К, что в 7 раз превышает температуру на Солнце. Эти звёзды обладают огромной массой и высокой светимостью. Одна из таких звёзд — R136a1 в созвездии Золотая Рыба Южного полушария неба — имеет массу, в 265 раз превышающую массу Солнца, и может претендовать на звание самой массивной из известных звёзд. Предположительно, при рождении эта звезда могла обладать ещё большей массой — до 320 масс Солнца. Кроме того, её размеры раз в 30 превышают размеры Солнца.

Белые карлики на диаграмме (см. рис. 44) находятся в левом углу ниже главной последовательности. Количество белых карликов в Галактике невелико — немного больше 1500. Эти звёзды имеют сравнительно малую массу, у большинства она примерно равна массе Солнца, у некоторых даже меньше массы Солнца. Белые карлики имеют размеры, сравнимые с размерами Земли, поэтому плотность их очень велика.

Примерами белых карликов являются яркие звёзды Сириус А и Сириус В. Сириус В имеет диаметр 40 000 км, т. е. в 2,5 раза больше, чем Земля. Его масса составляет 95% от массы Солнца. Средняя плотность этой звезды $3 \cdot 10^8$ кг/см³.

Судя по их спектрам, в атмосфере горячих белых карликов (температура 50 000 К) присутствуют гелий, кальций, железо, углерод, кис-

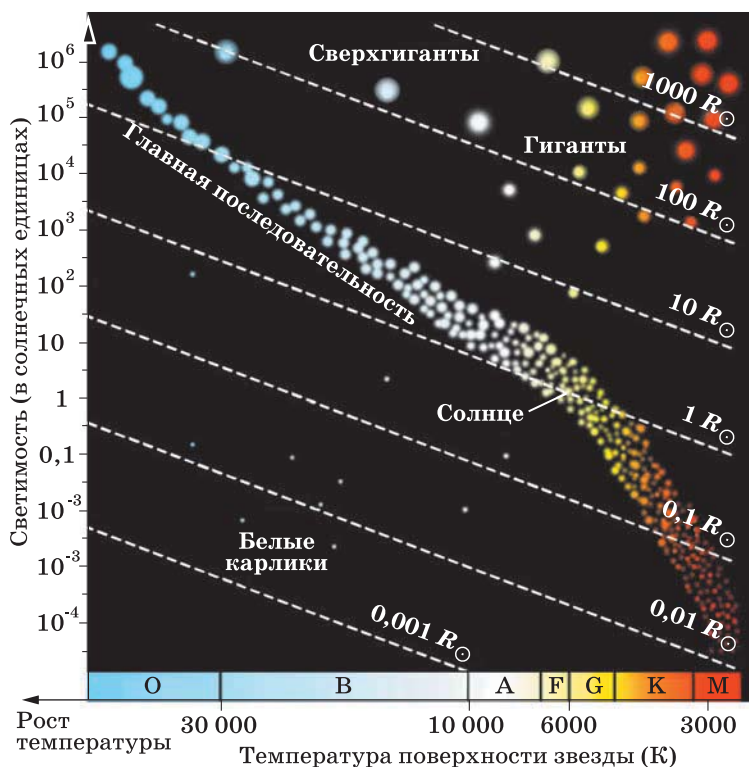


Рис. 44. Диаграмма «спектральный класс — светимость» (диаграмма Герцшпрунга—Ресселла)

лород и небольшое количество (0,05%) водорода, а атмосфера холодных белых карликов почти полностью состоит из гелия, водород в них отсутствует.

ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЁЗД. Попытки использовать диаграмму «температура — светимость» для того, чтобы понять, как связаны между собой различные типы звёзд, предпринимались неоднократно. Только благодаря использованию мощных компьютеров удалось рассчитать, какие изменения претерпевают звёзды на протяжении миллионов и миллиардов лет. За время жизни неоднократно меняются и термоядерные реакции, и внутреннее строение звёзд. Эти эволюционные изменения зависят от массы звезды. Чем больше масса звезды, тем быстрее она растрчивает водород, превращая его в гелий.

Расчёты показывают, что звёзды типа Солнца живут примерно 10 млрд лет. За несколько миллиардов лет существования Солнце мало изменилось, поскольку в его недрах всё ещё происходят термоядерные реакции превращения водорода в гелий. Более массивные звёзды рас-

ходят запасы водорода значительно быстрее (за десятки миллионов лет). После того как водород израсходован, начинаются реакции между ядрами гелия с образованием устойчивого изотопа углерод-12, а также реакции, продуктами которых является кислород и ряд более тяжёлых элементов (натрий, сера, магний и т. д.). Таким образом, в недрах звёзд образуются ядра многих химических элементов, вплоть до железа.

Все события в жизни звезды связаны с термоядерными реакциями, происходящими в её недрах. Температура в центре звезды очень высокая, поэтому запасы водорода здесь расходуются быстрее. Зона, в которой происходит превращение водорода в гелий, постепенно перемещается к периферии ядра, а его центральная часть, где преобладает гелий, сжимается и разогревается. При достаточно большой массе звезды температура здесь может достичь 120 млн К. Такая высокая температура необходима для протекания реакций превращения ядер гелия (альфа-частиц) в более массивные ядра углерода.

Вместе со сменой типа ядерных реакций меняется химический состав звезды и её отдельных слоёв, а также их плотность. Это приводит к изменению физических характеристик звезды: размеров, светимости и температуры поверхности.

У наиболее массивных звёзд на завершающем этапе их существования происходят катастрофические события, которые наблюдаются как вспышка **Сверхновой звезды**. Вспышка Сверхновой — гигантский по своим масштабам взрыв звезды, при котором её светимость в течение нескольких суток возрастает в сотни миллионов раз. При вспышке выделяется энергия порядка 10^{46} Дж, что примерно равно энергии, которую Солнце может излучить за всё время своего существования. Теоретические расчёты, результаты которых хорошо согласуются с наблюдательными данными, позволили составить достаточно полное представление о процессах, происходящих в тех Сверхновых звёздах, масса которых в десятки раз превосходит массу Солнца. К этому времени в них полностью исчерпаны возможности протекания термоядерных реакций. Эволюция таких массивных звёзд — это непрерывно ускоряющийся процесс увеличения температуры и плотности в ядре звезды.

Лишённое источников энергии ядро звезды не может противостоять гравитационным силам и *коллапсирует* (катастрофически сжимается) за несколько миллисекунд. На конечной стадии коллапса центральная часть ядра звезды сжимается до плотности ядерного вещества. За этим следует резкое расширение ядра, создающее мощную ударную волну, которая движется со скоростью не менее 30 000 км/с и срывает со звезды большую часть массы. В некоторых случаях вещество звезды полностью рассеивается в космическом пространстве, в других на месте звезды образуется плотный остаток её ядра.

Вещество этого остатка в основном состоит из нейтронов, образовавшихся при соединении протонов с электронами и тесно прижатых друг к другу гравитационными силами. Диаметры таких **нейтронных звёзд** всего 20—30 км, а плотность близка к ядерной и может превышать 10^{17} кг/м³.

Ещё более уникальные объекты, получившие название **чёрных дыр**, должны возникать, согласно теории, на конечной стадии эволюции звёзд, масса которых значительно превышает солнечную. У объекта такой массы, который сжимается до размеров в несколько километров, поле тяготения оказывается столь сильным, что вторая космическая скорость в его окрестности должна была бы превышать скорость света. Стало быть, чёрную дыру не могут покинуть ни частицы, ни даже излучение — она становится невидимой. Возможность обнаружить такой объект существует лишь в том случае, когда чёрная дыра оказывается одним из компонентов тесной двойной звёздной системы. Мощное гравитационное поле чёрной дыры способно вызвать падение на неё газа из атмосферы другой звезды, входящей в эту систему. Газ при падении на чёрную дыру нагревается до высокой температуры и даёт рентгеновское излучение. Именно это излучение и позволяет обнаружить существование чёрной дыры. В настоящее время известно несколько десятков чёрных дыр в центрах галактик, в том числе нашей. Возможно, что центром любой галактики может быть чёрная дыра.

Белые карлики, нейтронные звёзды и чёрные дыры являются конечными стадиями эволюции звёзд различной массы. Из вещества, которое было потеряно звёздами в процессе их эволюции, в последующем могут образовываться звёзды нового поколения.



Подробнее о небесных телах Солнечной системы вы узнаете из материала следующего параграфа.

Вы знаете

- ▶ как рождаются звёзды и каков химический состав звёзд
- ▶ что является источником энергии звезды
- ▶ чем различаются звёзды разных спектральных классов

Вы можете

- ▶ объяснить, как обычные звёзды превращаются в красных гигантов, белых карликов или нейтронные звёзды
- ▶ назвать спектральные классы звёзд
- ▶ дать основные характеристики Солнца

🕒 Выполните задания

1. Покажите, как связаны между собой светимость, цвет и температура звезды.
2. Объясните различие между нейтронными звёздами и белыми карликами.
3. Чем определяется конечная стадия эволюции звезды?
4. Докажите, что Солнце является жёлтым карликом.

🕒 Темы для рефератов

1. Теории эволюции звёзд. 2. Сравнительная характеристика звёзд-гигантов и белых карликов. 3. Солнечная активность и её влияние на планеты Солнечной системы (на примере Земли).

§ 12. Солнечная система

1. Опишите, как представляли себе строение Солнечной системы учёные Древней Греции и средневековой Европы.
2. Объясните различие между геоцентрической и гелиоцентрической системами мира.

СТРОЕНИЕ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ. Солнечная система (рис. 45) включает в себя (помимо центральной звезды — Солнца) восемь больших планет — Меркурий, Венеру, Землю, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун и их спутники, а также две карликовые планеты — Плутон и Цереру, малые планеты (астероиды), кометы, метеориты и космическую пыль.

Определённый порядок, который проявляется в том, что движение всех планет вокруг Солнца происходит в одном направлении и примерно в одной плоскости, уже давно обратил на себя внимание учёных. Это наводило на мысль, что планеты не случайно оказались около Солнца, а вероятнее всего, имеют общее происхождение. Идея эволюции природных систем, впоследствии сыгравшая большую роль в развитии всех естественных наук, впервые была высказана в астрономии, и касалась она происхождения Солнечной системы. В середине XVIII в. выдающийся немецкий философ *И. Кант* (1724—1804) проанализировал возможные последствия действия сил тяготения во Вселенной и высказал гипотезу образования небесных тел и их систем из разреженной материи, которая первоначально заполняла всю Вселен-

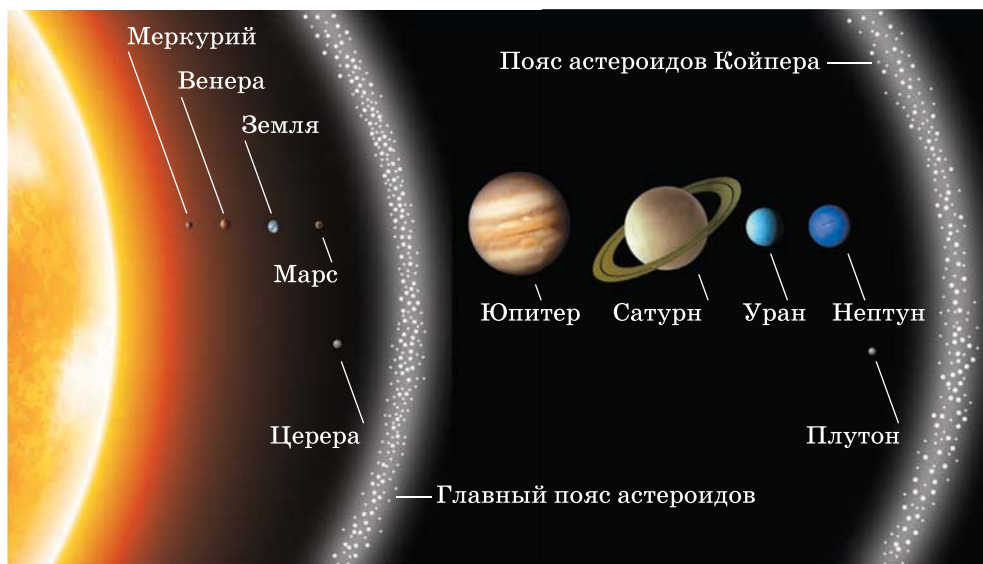


Рис. 45. Строение Солнечной системы

ную. Гипотеза образования планет из колец, последовательно отделяющихся при сжатии вращающейся газовой туманности, была опубликована французским астрономом, математиком и физиком *П. С. Лапласом* (1749—1827) в его работе «Изложение системы мира» (1796).

В XX в. была предложена и подробно разработана гипотеза, согласно которой Солнечная система сформировалась в результате длительной эволюции огромного холодного газопылевого облака. В него входили твёрдые частицы, состоявшие из таких химических элементов, как кремний, железо, другие металлы и неметаллы, а также замёрзшие газы (азот, кислород, углерод) и водяной лёд. Газовый компонент составляли наиболее распространённые во Вселенной водород и гелий с небольшими примесями неона, аргона и других газов.

Все ныне известные тела Солнечной системы состоят из тех веществ, которые содержались в допланетном облаке. Но при этом в телах различного типа их соотношение и состояние могут значительно различаться.

В течение нескольких миллиардов лет структура облака и распределение в нём различных веществ значительно изменялись. Разумеется, далеко не все детали процессов, которые произошли за это время, поддаются точным расчётам. Тем не менее современная наука позволила составить общую картину формирования Солнечной системы. Вначале сжатие облака гравитационными силами привело к образованию центрального горячего ядра — будущего Солнца. Оно захватило себе основную часть массы облака — около 90%. Тяготение образовавшегося

ся Солнца привело к тому, что оставшаяся часть облака становилась всё более и более плоским диском.

Частицы этого диска, обращаясь вокруг Солнца по самым различным орбитам, сталкивались между собой. В результате одних столкновений частицы разрушались, а в результате других — объединялись в более крупные. Возникали зародыши будущих планет и других тел. Считается, что число таких допланетных тел (*планетезималей*) достигало многих миллионов. Но в конце концов эволюция облака привела к тому, что оставшееся после формирования Солнца вещество было сосредоточено в немногих крупных телах — *планетах*. Компьютерные расчёты эволюции облака показали справедливость такого вывода.

В пользу этой гипотезы свидетельствуют и другие научные данные. Так, геологические исследования показывают, что наша планета никогда не была полностью расплавленной. Возраст наиболее древних пород, которые обнаружены в составе метеоритов, составляет примерно 4,5 млрд лет. Породы такой же древности обнаружены в доставленных на Землю образцах лунного грунта. Расчёты возраста Солнца дали близкую величину — 5 млрд лет. На основании этих данных принято считать, что все тела, которые в настоящее время составляют Солнечную систему, образовались примерно 4,5—5 млрд лет тому назад.

ПЛАНЕТЫ. Принципиальное отличие от звёзд, природа которых была рассмотрена в предыдущем параграфе, имеют планеты.

Планета — это небесное тело, в котором за всю его историю реакции ядерного синтеза не происходят ни в каком виде.

Планеты Солнечной системы по физическим характеристикам и составу разделяются на *планеты земной группы* (Меркурий, Венера, Земля и Марс) и *планеты-гиганты* (Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун).

По сравнению с планетами-гигантами размеры планет земной группы действительно невелики. Даже крупнейшие планеты этой группы — Земля и Венера — в 10 раз меньше Юпитера и Сатурна и примерно в 4 раза меньше Урана и Нептуна. Различия двух групп планет по массе ещё более значительны. Масса Юпитера более чем в 300 раз превосходит массу Земли, масса Сатурна — почти в 100 раз, Урана — в 15 раз, а Нептуна — в 17 раз.

Средняя плотность вещества планет земной группы характерна для твёрдого вещества: от 3,9 г/см³ у Марса до 5,52 г/см³ у Земли. Породы, составляющие твёрдую поверхность этих планет и Луны, сходны по химическому составу с земными породами. Они содержат оксиды кремния и различных металлов, например железа, магния, алюминия. Но по составу атмосферы Марс и Венера существенно отличаются

от Земли. Они содержат более 90% углекислого газа, несколько процентов азота и очень мало кислорода и воды. Меркурий и Луна вследствие малой массы вовсе лишены атмосферы.

По плотности вещества планеты-гиганты значительно уступают планетам земной группы — от 0,7 г/см³ (Сатурн) до 1,8 г/см³ (Нептун). Эти планеты состоят в основном из водорода и гелия, находящихся в газообразном и жидком состояниях. У них нет твёрдой поверхности в привычном смысле этого слова. То, что воспринимается как поверхность планет-гигантов, — это мощный слой облаков в их атмосферах, состоящих из водорода, гелия, метана, аммиака и других газов.

Вероятно, столь существенные различия планет двух групп по своей природе возникли ещё в процессе их формирования из допланетного облака. За несколько миллиардов лет состав этого облака в различных его частях стал неодинаковым. Под влиянием сильного нагрева из окрестностей Солнца улетучивались газы, среди которых самыми распространёнными являются водород и гелий. Вблизи него оставались лишь твёрдые тугоплавкие частицы. Из этого вещества сформировались Земля с Луной и другие планеты земной группы. Вдали от Солнца, на периферии облака, где температура оставалась низкой, газы замерзали на твёрдые частицы. Большая часть массы этого вещества приходилась на долю водорода и гелия, из которых в основном и состоят планеты-гиганты. Вещества «земного типа», хотя в меньшем количестве, тоже вошли в состав этих планет и их спутников.

Планеты двух групп значительно отличаются по числу спутников. Земля имеет один — Луну, Марс — два. У Меркурия и Венеры спутников нет. В то же время общее число спутников планет-гигантов превышает 180, у Юпитера, например, их 79. Кроме того, планеты-гиганты окружены тонкими кольцами, состоящими из ледяных и силикатных частиц самой различной величины — от пылинок до тел метрового размера, которые обращаются вокруг планеты.

Познакомимся с планетами Солнечной системы более подробно.

Меркурий — самая маленькая планета, размером примерно с Луну (диаметр Меркурия 4878 км), находится на расстоянии около 60 млн км от Солнца. На той стороне Меркурия, которая обращена к Солнцу, температура около 430 °С. Меркурий имеет малую скорость вращения: сутки на Меркурии длятся 176 земных суток. Поверхность его покрыта кратерами. Предполагают, что один из крупнейших кратеров — котловина Калорис — образовалась при столкновении Меркурия с огромным космическим телом.

Поверхность **Венеры** (рис. 46, а) нельзя рассмотреть даже с орбиты её искусственных спутников. Она закрыта от нас несколькими слоями облачности, постоянно существующими в атмосфере Венеры, которая по плотности лишь в 14 раз уступает воде и в 50 раз плотнее земной атмосферы. Тем не менее даже такая атмосфера остаётся прозрачной

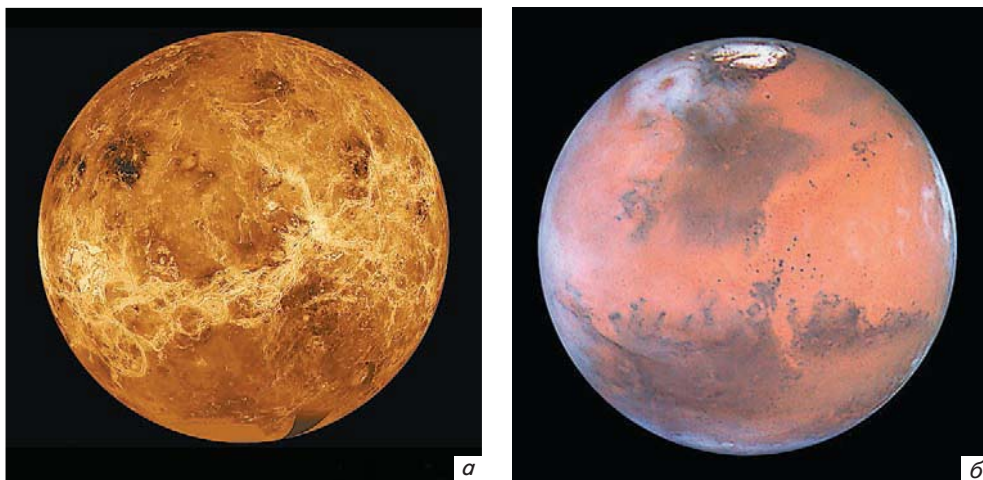


Рис. 46. Планеты: *а* — Венера; *б* — Марс

для солнечного излучения, которое нагревает поверхность Венеры. Для инфракрасного (теплого) излучения поверхности атмосфера Венеры непрозрачна, и оно уходит обратно в космос с большим трудом. Возникает так называемый парниковый эффект. Нагрев атмосферы продолжается до тех пор, пока уходящий поток энергии не станет равным приходящему. Это равновесие установилось на Венере, когда температура поверхности планеты достигла $460\text{—}470\text{ }^{\circ}\text{C}$. В этих сложных условиях исследования на поверхности планеты были проведены лишь несколькими автоматическими станциями. Большая часть научных данных о Венере была получена дистанционными методами с борта её искусственных спутников. Рельеф планеты был исследован с помощью радиолокационного зондирования. Это позволило получить трёхмерные изображения различных объектов и составить достаточно подробную карту Венеры. Оказалось, что почти вся её поверхность занята каменистыми холмистыми равнинами с метеоритными кратерами. Крупные возвышенные районы занимают лишь 8% поверхности. Рельеф этих районов довольно сложен: обширные плоскогорья типа Тибета, горы, вулканические кальдеры, тектонические разломы. Обнаружено множество вулканов, среди которых, возможно, есть и действующие.

Марс (рис. 46, *б*) больше всех планет похож на Землю. Это наиболее изученная с помощью космических аппаратов планета Солнечной системы. Установлено, что марсианские сутки на 40 минут длиннее земных. Атмосфера Марса сильно разрежена, поэтому она не может ночью сохранить ту энергию, которую получает днём. Следствием этого является то, что дневная температура атмосферы у поверхности Марса на экваторе редко бывает положительной, а за ночь понижается до

–90 °С. Поскольку Марс находится дальше от Солнца, чем Земля, то марсианский год почти в 2 раза длительнее земного. На полюсах Марса имеются полярные шапки из льда, покрытого слоем твёрдого углекислого газа. Поверхность этой планеты местами равнинная песчаная, на ней видны дюны и барханы, местами каменистая, покрытая кратерами, горами, потухшими вулканами (крупнейший имеет высоту более 20 км). Хорошо видны на поверхности Марса следы водных потоков, похожие на русла высохших рек.

Вокруг Марса вращаются два естественных спутника — Фобос и Деймос — глыбы поперечником порядка 10 км, покрытые кратерами от ударов метеоритов.

Юпитер — самая большая планета Солнечной системы, его диаметр превышает 70 тыс. км, а масса больше суммарной массы всех остальных планет. При такой огромной массе в недрах планеты создаётся давление, при котором водород переходит в металлическое состояние. Это обеспечивает существование мощного магнитного поля и магнитосферы, значительно превышающей по размерам магнитосферу нашей планеты. Масштабы природных явлений, происходящих на Юпитере, поражают. Например, самый заметный атмосферный вихрь (антициклон) — Большое красное пятно — имеет размеры $15\,000 \times 30\,000$ км. Полярные сияния, которые происходят на Юпитере, в 100 раз интенсивнее земных. Облака в его атмосфере выглядят как полосы коричневатых, красных, голубоватых оттенков. Они вытянуты вдоль экватора вследствие быстрого вращения планеты.

При исследовании многочисленных спутников Юпитера с помощью космических аппаратов самым неожиданным оказалось обнаружение нескольких действующих вулканов на спутнике Ио.

Сатурн (рис. 47) выделяется среди планет-гигантов и всех планет Солнечной системы тем, что его средняя плотность $0,7 \text{ г/см}^3$ (меньше плотности воды). По своей природе он во многом похож на Юпитер — состав атмосферы, полосы облаков и атмосферные вихри. Среди всех планет-гигантов Сатурн обладает наиболее заметной системой колец, общая ширина которых более 400 000 км, а толщина не превышает 10 км.

Титан — наиболее крупный среди его спутников — имеет атмосферу, в составе которой преобладает (как и у Земли) азот. Кроме того, на нём обнаружены метан и другие углеводороды. Они содержатся в атмосфере Титана, а на поверхности из-за низкой температуры переходят в жидкое состояние.



Рис. 47. Планета Сатурн

Уран и Нептун по химическому составу, наличию магнитного поля и характеру происходящих в атмосфере процессов сходны с Юпитером и Сатурном. Кольца Урана и Нептуна содержат меньше вещества и выглядят значительно более тонкими и слабыми.

История открытия Нептуна весьма интересна, она подтверждает не только справедливость физических законов, но и их предсказательную роль в научном познании. Нептун — самая дальняя планета Солнечной системы, и обнаружить её в ходе наблюдений учёные никак не могли. Изучая в середине XIX в. движение Урана, английский астроном *Дж. К. Адамс* (1819—1892) и французский астроном *У. Ж. Леверье* (1811—1877) обнаружили, что Уран движется с некоторыми отклонениями от той орбиты, которую они рассчитали для него, пользуясь законами движения Ньютона. Они предположили, что за Ураном находится ещё одна планета, притяжение к которой искажает рассчитанную траекторию его движения. Воспользовавшись законом всемирного тяготения, они рассчитали координаты предполагаемой планеты. Позже Нептун обнаружили именно в том месте, координаты которого ими были рассчитаны.

В 1930 г. таким же образом был открыт **Плутон**, долгое время считавшийся девятой планетой Солнечной системы (имеет 4 спутника).

АСТЕРОИДЫ И ПЛАНЕТЫ-КАРЛИКИ. Помимо планет из вещества газопылевого облака образовались малые тела Солнечной системы: астероиды, планеты-карлики и кометы.

Астероиды — малые тела Солнечной системы, которые обращаются вокруг Солнца, в основном между орбитами Марса и Юпитера.

Эту область Солнечной системы называют **Главным поясом астероидов**. Число обнаруженных в нём астероидов с каждым годом растёт, сейчас их насчитывается около полумиллиона. Только 30 из них имеют диаметр более 200 км. Крупнейшими являются Паллада (538 км) и Веста (526 км). Традиция давать астрономическим объектам имена мифических героев и богов долгое время сохранялась в астрономии, но постепенно запас названий мифических существ иссяк. В настоящее время астероидам присваивают самые различные имена, не только собственные, но и нарицательные. Так, в память жертв теракта 11 сентября 2001 г. в США три астероида были названы Великодушие, Солидарность и Сострадание.

В конце XX в. современными методами наблюдения на больших телескопах за орбитой Нептуна были обнаружены первые объекты такого же, как астероиды, и даже большего размера. К настоящему времени таких тел диаметром от 100 до 1000 км известно уже несколько тысяч. Эта область Солнечной системы получила название пояса Койпера. Плутон, открытый в этом поясе ещё в 1930 г., ранее относил-



Рис. 48. Комета

ся к числу планет. С 2006 г. Плутон (диаметр 2300 км), Эрида (2400 км) и ещё несколько подобных тел выделены в особый класс — *планеты-карлики*.

КОМЕТЫ — НЕБЕСНЫЕ ГОСТИ. В отличие от астероидов, первый из которых был открыт только в 1800 г., кометы известны человечеству с глубокой древности. Первые записи о кометах, сделанные в Китае, датируются 2315 г. до н. э.

В переводе с греческого «комета» означает «волосатая, косматая». Главная часть кометы (рис. 48) — ядро, представляющее собой ледяную глыбу, которая содержит не только воду, но также замёрзшие газы и мелкие твёрдые частицы различного химического состава. Когда она оказывается в зоне непосредственного действия солнечного излучения, лёд испаряется, в результате вокруг ядра образуется оболочка из ионизованного газа. Эта оболочка может иметь размеры, сравнимые с диаметром Солнца. Под действием солнечного давления и солнечного ветра часть газов оболочки отталкивается в сторону, противоположную Солнцу, и комета приобретает светящийся хвост, направленный от Солнца. Хвост кометы может иметь длину до нескольких десятков миллионов километров. Кометы имеют массу примерно 10^{15} — 10^{18} кг.

Частички хвоста отражают солнечные лучи, и потому мы видим свечение кометы. Кроме того, и сами частицы кометного облака под действием солнечного излучения способны излучать свет, но свет этот «холодный», он подобен свечению люминесцентных наклеек.

Наиболее известной кометой является комета Галлея, которая, двигаясь по эллиптической орбите, может подойти к Земле достаточно близко. Последний раз её наблюдали в 1986 г. В следующий раз она появится уже в 2062 г. Изучение этой кометы космическими аппаратами, которые подлетали к ней на расстояние 8000 км, позволило получить фотографии её ядра, изучить его рельеф и оценить его размеры. Ядро кометы Галлея имеет размеры $16 \times 18 \times 6$ км.

Большинство комет вращается вокруг Солнца по вытянутым орбитам. Вследствие неоднократных приближений к Солнцу комета теряет вещество и разрушается. Мелкие частицы, оставшиеся от кометы, встречаются на своём пути с Землёй и вызывают в атмосфере явление метеора. Ядра комет могут быть опасными для планет при столкновении с ними. Есть предположение, что ядром кометы мог быть знаменитый Тунгусский метеорит. Учёным удалось предсказать и пронаблюдать (как с Земли, так и из космоса) столкновение кометы Шумейкеров—Леви с Юпитером в июле 1994 г.

Откуда в Солнечной системе появляются кометы? Наиболее правдоподобную гипотезу, нашедшую в дальнейшем весомые доказательства, выдвинул голландский астроном *Я. Оорт*. По его мнению, после образования планет Солнечной системы на периферии допланетного облака должно было сохраниться в неизменном виде довольно большое количество вещества, которое не объединилось в самостоятельную пла-



Когда среди сонма звёзд, размеренно и стройно,
Как звуков перелив, одна вослед другой,
Определённый путь свершающих спокойно,
Комета полетит неправильной чертой,
Недосозданная, вся полная раздора,
Невзнузданных стихий неистового спора,
Горя ещё сама и на пути своём
Грозя иным звездам стремленьем и огнём,
Что нужды ей тогда до общего смущенья,
До разрушения гармонии?.. Она
Из лона отчего, из родника творенья
В созданья стройный круг борьбою послана,
Да совершит путём борьбы и испытанья
Цель очищения и цель самосозданья.

Ан. Григорьев

нету. Эти ледяные глыбы включают частицы космической пыли. Каждая из них — потенциальное ядро будущей гостьи Солнечной системы — кометы. Количество таких ядер в кометном поясе огромно — порядка 100 миллиардов. В совокупности они образуют на внешней окраине Солнечной системы сферу, названную Облаком Оорта. Некоторые из этих ледяных ядер залетают в Солнечную систему и наблюдаются в виде комет.

МЕТЕОРЫ И МЕТЕОРИТЫ. На тёмном небе порой можно наблюдать метеоры — так называемые падающие звёзды.

Метеор — явление кратковременной вспышки влетающего в атмосферу Земли небольшого космического тела — *метеороида*.

Метеорит — это твёрдое тело космического происхождения, упавшее на поверхность Земли.

Метеорное тело (метеороид) входит в атмосферу Земли со скоростью от 11 до 72 км/с. При движении в воздухе он теряет скорость, сильно разогревается, начинает испаряться, ионизует молекулы воздуха и вызывает их свечение. В том случае, если масса метеороида не превышает нескольких граммов, он полностью распыляется в атмосфере. Всё это происходит на высоте 80—120 км и продолжается от долей секунды до 3—5 секунд. Более крупные тела распадаются на отдельные фрагменты, которые долетают до поверхности Земли в виде метеоритного дождя.

По химическому составу метеориты делятся на три большие группы: каменные, железные и железокаменные, — каждая из которых в свою очередь включает ряд подклассов.

Железные метеориты содержат (в среднем) 91% железа, 8,5% никеля и 0,5% кобальта. Самый крупный железный метеорит — Гоба — массой 60 т был обнаружен в Намибии. Железным был и Сихотэ-Алинский метеорит, упавший в Уссурийской тайге 12 февраля 1947 г. Общая масса осколков этого метеорита около 23 т.

Средний состав *каменных метеоритов*: 36% кислорода, 26% железа, 18% кремния и 14% магния. Интересно, что именно эти 4 элемента составляют свыше 90% массы нашей планеты. Примером каменного метеорита является метеорит Царёв, который упал 6 декабря 1922 г. вблизи села Царёв Волгоградской области и распался в виде метеоритного дождя. Общая масса собранных осколков 1,6 т на площади около 15 км². Вес самого большого упавшего фрагмента составил 284 кг. Каменным был и метеорит, падение которого случилось 15 февраля 2013 г. в Челябинской области.

Находка метеорита, падение которого не наблюдалось, довольно редкое явление. Всего на территории России за 50 лет было найдено только 125 метеоритов.

Метеориты оставляют на поверхности Земли воронки правильной формы, называемые кратерами. Это объясняется взрывными процессами, сопровождающими его падение. Один из самых известных кратеров в мире — Аризонский, его диаметр 1207 м, глубина 174 м. Предполагается, что наибольший метеоритный кратер — на Земле Уилкса в Восточной Антарктиде, его диаметр около 500 км.

ЭКЗОПЛАНЕТЫ. Древнегреческие философы, а затем многие учёные в последующие столетия считали, что не только вокруг Солнца, но и вокруг других звёзд должны существовать планеты. Однако только в 1995 г. была открыта первая экзопланета (внесолнечная планета).

Экзопланета — планета, принадлежащая иной, не Солнечной планетной системе.

Но уже к концу XX в. было обнаружено около 20 планетных систем у близких звёзд. После запуска в 2009 г. космического аппарата «Кеплер», специально предназначенного для поиска экзопланет, известно уже более 760 таких планет, а также свыше 600 планетных систем, которые включают от 2 до 6 планет. При изучении звезды β Живописца была обнаружена экзопланета, которая движется в газопылевом облаке. Этот факт считается одним из доказательств справедливости современных представлений о происхождении планет.

В настоящее время стало очевидно, что планет, обращающихся вокруг других звёзд, во много раз больше, чем предполагалось ранее. Среди них обнаружены и такие, которые по размерам напоминают Землю, хотя преобладают похожие на планеты-гиганты типа Юпитера и Нептуна. Некоторые экзопланеты обращаются вокруг звёзд на таком расстоянии, что на их поверхности вода могла бы находиться в жид-

ком виде. В ближайшем будущем основное внимание будет сосредоточено на поиске и детальном изучении планет, наиболее близких к Земле по массе, размерам и условиям на их поверхности.

Существующие методы исследования пока ещё не позволяют получить достоверные данные о существовании жизни на экзопланетах. Тем не менее человечество не теряет надежды обнаружить разумных обитателей других миров. Начиная с 70-х годов прошлого века в оптическом и радиодиапазонах ведутся поиски сигналов внеземных цивилизаций. С тех пор в направлении некоторых звёзд и звёздных скоплений крупнейшими радиотелескопами было передано несколько радиопосланий, адресованных возможным «братьям по разуму». В 2007 и 2008 гг. «адресатом» таких посланий была выбрана звезда Gliese (Глизе) 581 — красный карлик из созвездия Весы, находящийся на расстоянии 20 св. лет от Земли. Такой выбор был не случаен: у этой достаточно близкой звезды обнаружены пять планет, причём на некоторых из них можно предполагать условия, пригодные для существования жизни. Послания внеземным цивилизациям были отправлены также на космических аппаратах «Пионер» и «Вояджер», которые должны вылететь далеко за пределы Солнечной системы. Возможно, что жители Земли когда-нибудь смогут убедиться в том, что мы не одиноки во Вселенной.



Небесный свод, горящий славою звёздной,
Таинственно глядит из глубины, —
И мы плывём, пылающе бездной
Со всех сторон окружены.

Ф. Тютчев



О том, какое положение занимает во Вселенной Солнечная система, вы узнаете из следующего параграфа.

Вы знаете

- ▶ как сформировалась Солнечная система и из чего она состоит
- ▶ что представляют собой кометы, метеоры и метеориты

Вы можете

- ▶ рассказать об образовании Солнечной системы
- ▶ назвать и описать все планеты Солнечной системы

Выполните задания

1. Приведите доказательства рождения планет из газопылевого облака.
2. Объясните, почему именно на планетную систему звезды Gliese 581 были отправлены радиосигналы братьям по разуму. Считаете ли вы возможной жизнь на других планетах? Аргументируйте свою точку зрения.
3. Расскажите, что представляют собой кометы, метеоры и метеориты, чем они отличаются друг от друга.
4. Подготовьте сообщение об одной из планет земной группы или одной из планет-гигантов.
5. Дайте характеристику Земли, Венеры и Марса. Покажите, в чём их различия и что у них общего.

Темы для рефератов

1. История открытия планет Солнечной системы.
2. Эдмунд Галлей и его исследования.
3. Тунгусский метеорит: факты и гипотезы.
4. Юпитер и его спутники.
5. Церера — самая близкая к Земле карликовая планета.

§ 13. Галактики

1. Объясните, что называют галактикой.
2. Назовите известные вам галактики.

НАША ГАЛАКТИКА — МЛЕЧНЫЙ ПУТЬ. В ясную безлунную ночь на небосклоне хорошо видна светлая полоса, которая опоясывает весь небосвод в виде серебристой ленты. Согласно древнегреческому мифу, Геракл пролил молоко, которым его кормила богиня Гера. Белая поло-

са на небе напоминает пролитое молоко, поэтому она получила название Млечный Путь.

Наблюдая Млечный Путь в телескоп, Галилей установил, что он состоит из большого количества звёзд. Эту звёздную систему называли Галактикой (от *греч.* *galaktikos* — млечный). Впоследствии слово «галактика» стало употребляться как название огромных звёздных систем.

Галактика — гигантская гравитационно связанная система, состоящая из звёзд и газопылевых облаков.

Для того чтобы отличать галактику, в которой находится Солнечная система, от всех остальных галактик, принято называть её «наша галактика» или писать слово «Галактика» с большой буквы. Мы будем

следовать этому правилу, с тем чтобы избежать путаницы, хотя во многих книгах нашу галактику часто называют «Млечный Путь».

Млечный Путь проходит через созвездия Возничего, Персея, Кассиопеи, Цефея, Стрельца, Ориона, Тельца и др. Солнечная система тоже входит в её состав и находится внутри неё.

Уже к середине XX в. были надёжно установлены основные черты строения Галактики. Центральное сгущение звёзд (*балдж*) с более плотным ядром внутри, окружающая его дискообразная система звёзд и галактическая корона (*гало*) почти сферической формы, где звёзд ещё меньше. На рисунке 49 показано, как выглядит галактика, подобная нашей, если смотреть на неё «сбоку», а не «сверху». «Население»

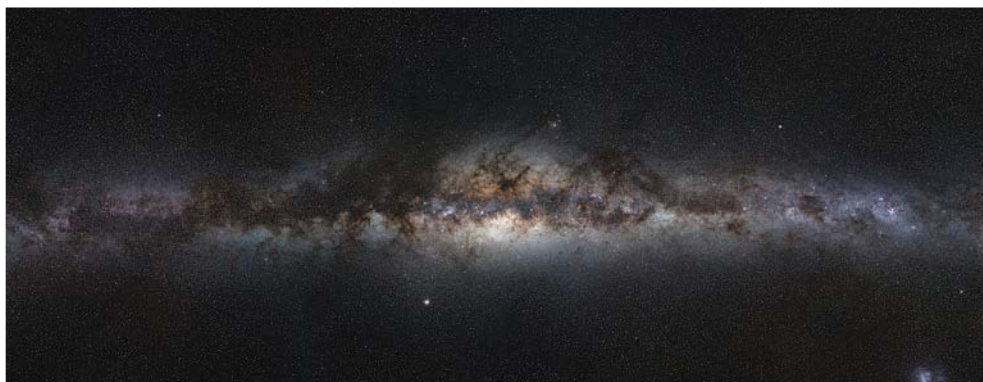


Рис. 49. Так выглядит наша Галактика Млечный Путь

Галактики делятся на два типа. К первому типу относятся Солнце, звёзды-сверхгиганты, рассеянные звёздные скопления, облака газа и пыли. Все эти объекты концентрируются к плоскости Галактики. Население второго типа, которое составляют шаровые скопления, планетарные туманности, некоторые звёзды-гиганты и другие объекты, концентрируются к центру Галактики и образуют её гало. Объекты обоих типов населения Галактики обращаются вокруг её центра с различными скоростями по различным орбитам.

Анализ движения звёзд в Галактике показал, что в ней находится много вещества, которое проявляет себя только гравитационным взаимодействием, но остаётся невидимым. Его назвали **тёмной материей**. Чем дальше от центра Галактики, тем большая доля массы приходится на это невидимое вещество. Природа тёмной материи ещё до конца неясна.

Диаметр диска Галактики 100 тыс. св. лет (около 30 кпк), а толщина в несколько раз меньше. Размер ядра не более 2000 пк, здесь находится сверхмассивная чёрная дыра (Стрелец А). По разным оценкам, число звёзд в Галактике составляет от 2 млрд до 1 трлн, а её масса примерно $3 \cdot 10^{12}$ масс Солнца ($6 \cdot 10^{42}$ кг). Около 1% этой массы приходится на межзвёздный газ и пыль, причём пыли в 100 раз меньше газа.

Наша Галактика принадлежит к числу спиральных. Судя по всему, её спиральные «рукава» начинаются не от центра, а от перемычки (*бара*). Эта перемычка проходит через центр Галактики и заканчивается на расстоянии 3—4 кпк от него. В рукавах, состоящих из звёзд, облаков газа и пыли, происходит формирование молодых звёзд. Солнечная система располагается между двумя такими рукавами (рис. 50) на расстоянии около 10 кпк (30 тыс. св. лет) от центра Галактики.

К сожалению, установить точное расположение и форму рукавов Галактики мешает межзвёздная среда. Пыль, которая входит в её состав, рассеивает и поглощает свет звёзд, так что её структуру мы знаем хуже, чем структуру других спиральных галактик, например туманности Андромеды. Наиболее важные для решения этой проблемы результаты удаётся получить только благодаря радиотелескопам.

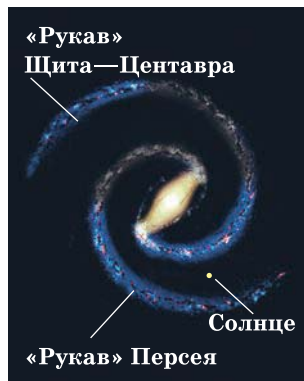


Рис. 50. Расположение Солнечной системы между двумя главными «рукавами» нашей спиральной Галактики

И страшным, страшным креном
К другим каким-нибудь
Неведомым вселенным
Повёрнут Млечный Путь!

Б. Пастернак



ЗВЁЗДНЫЕ СКОПЛЕНИЯ. По современным данным, не менее 70% звёзд Галактики входят в состав двойных и кратных систем, а одиночные звёзды (как, например, наше Солнце) — это, скорее, исключение из правил. Но нередко встречаются и более многочисленные «коллективы» — звёздные скопления.

Звёздное скопление — это группа звёзд, расположенных в пространстве недалеко друг от друга, связанных общим происхождением и взаимным тяготением.

Все входящие в скопление звёзды находятся от нас на одном расстоянии (с точностью до размеров скопления) и имеют примерно одинаковый возраст и химический состав. В то же время они находятся на разных стадиях эволюции (стадия эволюции определяется начальной массой звезды), что делает их удобным объектом для проверки теорий происхождения и эволюции звёзд.

Существует два типа звёздных скоплений — шаровые и рассеянные.

Шаровые звёздные скопления имеют правильную сферическую или несколько сплюснутую форму. В настоящее время известно около 150 шаровых скоплений в Галактике. Они насчитывают в своём составе от десятков тысяч до миллионов звёзд. В шаровых скоплениях отсутствуют массивные звёзды главной последовательности. Это свидетельствует о значительном возрасте шаровых скоплений (10—12 млрд лет, т. е. они формировались одновременно с образованием самой Галактики). За такое время запасы водорода исчерпываются у звёзд с массой, близкой к солнечной, и они покидают главную последовательность, образуя ветвь сверхгигантов и гигантов. Поэтому в шаровых скоплениях самыми яркими звёздами являются красные гиганты.

В средних широтах Северного полушария для наблюдения невооружённым глазом доступны скопления в созвездиях Стрельца и Геркулеса. Диаметр скопления в созвездии Геркулеса 36 св. лет, оно содержит около миллиона звёзд.

Рассеянные звёздные скопления имеют неправильную форму и содержат относительно немного звёзд — от нескольких десятков до нескольких тысяч. Самым известным рассеянным скоплением являются Плеяды, видимые в созвездии Тельца. В нём 120 звёзд, расстояние до него 410 св. лет.

Известно более 1200 рассеянных звёздных скоплений. Они распределены по небесной сфере неравномерно, но, в отличие от шаровых скоплений, практически все скопления этого типа видны вблизи Млечного Пути. В рассеянные скопления входят звёзды разного типа: в них встречаются голубые и красные сверхгиганты, гиганты и др.

РОЖДЕНИЕ ЗВЁЗД. Идея о том, что звёзды возникают в результате сжатия вещества гравитационными силами, была высказана почти

сразу же после открытия закона всемирного тяготения в конце XVII в. Однако вплоть до XX в. имевшиеся данные о состоянии вещества в межзвёздном пространстве не позволяли подтвердить справедливость этой гипотезы. Положение изменилось только после обнаружения в межзвёздной среде наиболее холодных и плотных облаков молекулярного водорода. Именно в них и рождаются звёзды. Сначала облако (или его часть) распадается на отдельные фрагменты, каждый из которых впоследствии может стать звездой. То, что звёзды возникают не поодиночке, а группами, подтверждается существованием звёздных скоплений. На начальном этапе формирования будущей звезды происходит быстрое сжатие газа. По сути дела — это свободное падение вещества к центру будущей звезды (*протозвезды*). По мере сжатия плотность газа увеличивается, а его прозрачность для собственного теплового излучения уменьшается, возрастает его температура, и меняется состояние вещества. Сначала при температуре порядка нескольких тысяч градусов молекулы распадаются на атомы, а при дальнейшем повышении температуры происходит ионизация атомов. Когда температура в центре протозвезды достигает нескольких миллионов кельвинов, начинаются термоядерные реакции — протозвезда становится звездой. Для превращения протозвезды в звезду требуется от нескольких миллионов до нескольких сот миллионов лет.

ТИПЫ ГАЛАКТИК. Как вы уже знаете, звёзды во Вселенной объединены в гигантские звёздные системы, называемые галактиками.

Во Вселенной галактики распределены неравномерно: в одной области можно обнаружить целую группу близких галактик, а можно не обнаружить ни одной галактики. Масса галактик варьируется от 10^7 до 10^{12} масс Солнца (масса Солнца $2 \cdot 10^{30}$ кг).

Э. Хаббл выделил следующие основные типы галактик: эллиптические и сферические, состоящие в основном из старых звёзд, спиральные, в «рукавах» которых находятся молодые звёзды, а также галактики неправильной формы.

В центральных областях галактик находятся так называемые ядра — скопления огромного количества звёзд. Периферию галактик составляют облака из редких звёзд. Кроме звёзд в галактиках содержатся космическая пыль и газ, образующие туманности. Пространство между галактиками и между звёздами содержит очень небольшое количество вещества. Его концентрация составляет в среднем 10^4 атомов/ м^3 . Для сравнения: в атмосфере Земли концентрация воздуха 10^{23} атомов/ м^3 , в лучшем лабораторном вакууме — 10^9 атомов/ м^3 .

Эллиптические (рис. 51) галактики имеют вид гладких эллипсов или кругов. Их яркость



Рис. 51. Эллиптическая галактика M87 в созвездии Девы



Рис. 52. Спиральная галактика



Рис. 53. Галактика Антенна — это пара взаимодействующих галактик

постепенно уменьшается от центра к периферии. Отличаются друг от друга эллиптические галактики меньшим или большим сжатием. Галактики, имеющие форму шара, не вращаются и не подвержены сжатию. Масса самых крупных эллиптических галактик составляет 10^{13} масс Солнца. Такую сравнительно большую массу они имеют из-за того, что в них мало газа и пыли.

Спиральные галактики (рис. 52) состоят из ядра и двух или более спиральных ветвей, которые могут быть одинаково или по-разному развиты. Спиральные галактики характеризуются многообразием форм и рисунков ветвей. К спиральным галактикам относятся, например, туманность Андромеды и наша галактика — Млечный Путь. Эти галактики вращаются, они содержат большое количество газа и пыли. Спиральные галактики имеют массу от 10^{10} до 10^{12} масс Солнца.

Галактики неправильной формы не характеризуются ни симметричностью, как спиральные, ни тем более правильностью формы, как эллиптические галактики. У них отсутствует ярко выраженное ядро. Существование таких галактик можно объяснить малой плотностью в них материи или их молодым возрастом. Другой причиной появления галактик неправильной формы может быть их взаимодействие в прошлом с другими галактиками, что и привело к нарушению их формы и структуры. В частности, в неправильных галактиках Магеллановы Облака были обнаружены признаки спиральной разрушенной структуры. Взаимодействующие галактики (рис. 53) наблюдаются и сейчас. Это двойные галактики, между которыми существуют светлые перемычки.

РАДИОГАЛАКТИКИ И КВАЗАРЫ. Все галактики в той или иной степени являются источниками радиоволн, но существуют галактики, излучение которых в радиодиапазоне сравнимо с мощностью их собственного оптического излучения. Почти все радиогалактики относятся к эллиптическим.

Мощность радиоизлучения некоторых из них достигает 10^{39} Вт. Для сравнения: мощность радиоизлучения обычной галактики порядка 10^{31} — 10^{32} Вт.

К наиболее мощным радиогалактикам относятся: Лебедь А — мощнейший внегалактический источник радиоизлучения; Центавр А —

ближайшая радиогалактика (расстояние примерно 4 Мпк); Дева А — одна из самых массивных галактик в созвездии Девы; Печь А — четвёртый по мощности внегалактический источник радиоизлучения.

Механизм этого излучения связан с движением в магнитном поле электронов, которые выброшены из ядра галактики и обладают высокой энергией.

Ещё более мощное радиоизлучение дают **квазары** (квазизвёзды, их ещё называют квазизвёздными радиоисточниками) — яркие объекты вблизи центра эллиптической галактики. Квазар производит примерно в 10 трлн раз больше энергии в секунду, чем наше Солнце (и в миллион раз больше энергии, чем самая мощная известная звезда). В телескопе квазары можно принять за звёзды, но звёздами они не являются. Это особый светящийся источник радиоизлучения.

Пока ещё нет однозначного ответа на вопросы о том, каково строение квазара и каковы процессы, перерабатывающие их колоссальную энергию в излучение. Большинство астрофизиков пришли к согласию, что главным источником энергии квазаров является падение вещества на сверхмассивную чёрную дыру, гравитационное поле вблизи которой достигает максимально возможного в природе значения. Пока максимальная чёрная дыра — несколько миллиардов масс Солнца — выявлена в центре радиогалактики в созвездии Девы.



О том, что произошло во Вселенной 13,5 млрд лет тому назад, вы узнаете из следующего параграфа.

Вы знаете

- ▶ какие бывают типы галактик
- ▶ что представляют собой радиогалактики и квазары
- ▶ что такое Млечный Путь

Вы можете

- ▶ объяснить, что такое галактики, каковы их массы, как они устроены и из чего состоят
- ▶ характеризовать нашу галактику — Млечный Путь

Выполните задания

1. Приведите примеры галактик каждого типа. К какому типу галактик относится наша — Млечный Путь?
2. Приведите наиболее популярную гипотезу происхождения квазаров.
3. Расскажите, как устроена наша Галактика — Млечный Путь.

1. Чёрные дыры во Вселенной, история их исследований. 2. Радиогалактики как источники мощного радиоизлучения. 3. Межзвёздная пыль, её природа и свойства. 4. Наиболее интересные созвездия Северного полушария (одно на выбор): происхождение названия, наиболее интересные объекты, исторические упоминания созвездия или его объектов.

§ 14. Происхождение и эволюция Вселенной

1. Сделайте краткое сообщение об астрономии Древнего Египта, назовите богов и богинь, связанных с Солнцем, Луной и планетами, которых особо почитали египтяне.
2. Объясните, какую роль играла астрономия в составлении календарей древних народов (мая, египтян, народов Востока, Месопотамии, Рима и Греции и др.), в создании первых географических карт, в жизни древних мореходов и земледельцев.

ЧТО ТАКОЕ КОСМОЛОГИЯ. Человек уже в глубокой древности пытался понять, что такое мир, в котором он живёт. Тогда космология представляла собой религиозные мифы о сотворении и уничтожении существующего мира.

По сути дела, существовавшие на каждом этапе развития цивилизации представления о строении мира можно считать космологическими теориями соответствующей эпохи. Геоцентрическая система мира Аристотеля—Птолемея стала первой научно обоснованной космологической моделью. Через 1500 лет её сменила новая космологическая модель — гелиоцентрическая система Коперника.

Вселенная — это всё, что нас окружает, весь материальный мир. Но и сейчас, как и в прошлом, учёные предпочитают называть Вселенной ту часть материального мира, которая доступна для изучения существующими естественно-научными методами.

Космология — раздел астрономии, который изучает строение и эволюцию Вселенной в целом, используя при этом методы, теории и достижения физики, математики и философии.

Очевидно, что выводы космологии имеют важное значение для формирования научной картины мира.

Теоретические модели, описывающие наиболее общие свойства строения и эволюции Вселенной, проверяются астрофизическими методами наблюдений.

НАЧАЛО СОВРЕМЕННОЙ КОСМОЛОГИИ. Основой модели Вселенной в начале XX в. явилась созданная А. Эйнштейном *общая теория относительности* (ОТО) — релятивистская теория тяготения. Уравнения ОТО связывают свойства материи, находящейся в искривлённом пространстве-времени, с его кривизной. При этом Вселенная считается однородной и изотропной. Однородность означает, что свойства вещества Вселенной остаются неизменными при переходе из одной её точки к другой. Изотропность гарантирует, что свойства вещества, наблюдаемые из одной точки в различных направлениях, одинаковы.

На вопрос о том, что нового внесла созданная им общая теория относительности в понимание природы, Эйнштейн ответил: «Прежде считали, что, если все материальные тела исчезнут из Вселенной, время и пространство сохранятся. Согласно же теории относительности, время и пространство исчезнут вместе с телами».

Идея неизменности, стационарности Вселенной была для Эйнштейна настолько очевидной, что для уравнений теории относительности, описывающих процессы, происходящие во Вселенной, он предложил решения, согласно которым её состояние не меняется со временем. Чтобы уравновесить силы тяготения, он предположил, что кроме них во Вселенной существует сила отталкивания. Эта сила должна быть универсальной, зависящей только от расстояния между телами и не зависящей от их массы. Так в уравнениях ОТО появилась обусловленная гипотетическими силами отталкивания космологическая постоянная — лямбда-член.

Астрофизические наблюдения, которые призваны обеспечить проверку теоретических выводов, в это время были связаны с изучением галактик.

В 1917 г. В США в распоряжение учёных поступил телескоп-рефлектор с диаметром зеркала около 2,5 м, который долгое время оставался крупнейшим в мире. Именно с помощью этого телескопа американский астроном *Э. П. Хаббл* (1889—1953) проводил исследования движения галактик, которые сыграли важную роль в становлении и развитии современной космологии. К этому времени другой американский астроном *В. Слайфер* (1875—1969), измерив скорости движения полутора десятков галактик, обнаружил интересные особенности их движения. Оказа-



Эдвин Пауэл Хаббл



Рис. 54. Красное смещение в спектрах галактик

лось, что все они движутся со скоростями, гораздо большими, чем скорости звёзд и звёздных скоплений. Эти скорости составляли от нескольких сотен до 1100 км/с. Но ещё более удивительным оказался тот факт, что с такими скоростями все они удалялись от нас.

И Слайфер, и Хаббл определяли скорость галактик на основе изменения положения линий в их спектрах. При изменении расстояния между наблюдателем и объектом наблюдения эти линии смещаются в спектре: при уменьшении расстояния в коротковолновую часть спектра, при его увеличении — в длинноволновую (красную) часть. В случае галактик было обнаружено «красное смещение» (рис. 54). Следовательно, расстояние до них увеличивалось.

» **Напомним**, что частота (ν) — число колебаний в единицу времени:

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

где T — период.

Длина волны (λ) — расстояние между двумя точками, колеблющимися в одинаковой фазе:

$$\lambda = \nu T; \quad \lambda = \frac{\nu}{\nu},$$

где ν — скорость волны.

Чтобы подробнее в этом разобратся, обратимся к известному из физики эффекту Доплера.

ЭФФЕКТ ДОПЛЕРА. Эффект Доплера легко проиллюстрировать на примере автомобиля с включённым звуковым сигналом. Звук — это механическая волна. Основными характеристиками волны, в том числе и звуковой, являются период, частота, длина волны, скорость волны.

С частотой колебаний связана высота звука: чем больше частота колебаний источника звука, тем более высокий звук мы слышим или регистрируем.

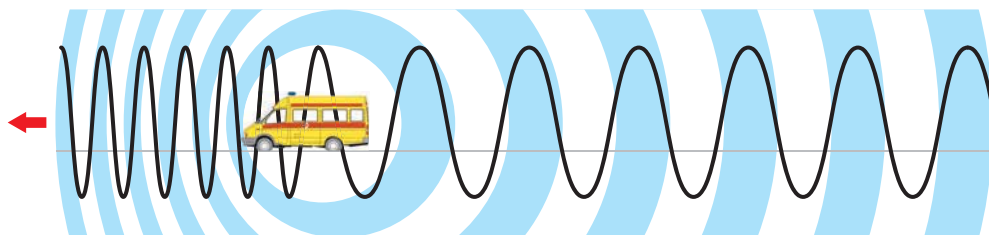


Рис. 55. Эффект Доплера. Автомобиль с включённым звуковым сигналом движется влево

Когда автомобиль стоит на месте, неподвижный наблюдатель слышит звук некоторой частоты. Если автомобиль движется на него, звук сигнала становится более высоким: машина как бы догоняет звуковую волну, её частота увеличивается (длина волны уменьшается) (рис. 55).

Стоит только автомобилю миновать наблюдателя, он начинает «убегать» от собственной звуковой волны. Звук станет более низким по сравнению со звуком, исходящим от неподвижной машины, поскольку его частота уменьшается (длина волны увеличивается).

Эффект Доплера — это явление изменения частоты (длины волны) регистрируемых приёмником волн, излучаемых движущимся объектом.

ВСЕЛЕННАЯ НЕ СТАЦИОНАРНА. В 1922—1924 гг. российский учёный А. А. Фридман (1888—1925) получил решения уравнений Эйнштейна, из которых следовало, что однородная и анизотропная Вселенная не может находиться в покое — галактики, заполняющие всё её пространство, должны либо удаляться друг от друга, либо сближаться.

Вывод, сделанный Фридманом на основе математически строгого решения уравнений ОТО, нетрудно получить, оперируя только привычными понятиями закона всемирного тяготения Ньютона. Вселенная должна быть нестационарной, поскольку в ней действует тяготение. Галактики могут находиться в покое только мгновение. В следующий момент они начнут сближаться под действием сил тяготения. Если же в начальный момент галактики будут иметь скорости, направленные так, чтобы они удалялись друг от друга, то в этом случае тяготение будет тормозить расширение Вселенной. Величину и направление скорости, которую имеют галактики в определённый момент, теория тяготения вычислить не позволяет. Эти величины можно получить только на основе наблюдений.

ЗАКОН ХАББЛА. Теоретические выводы Фридмана были подтверждены работами Хаббла. Более того, сравнив величину «красного смещения» в спектрах различных галактик с расстоянием до них, он установил закон, впоследствии названный его именем. Согласно закону Хаббла, скорости удаления любой галактики от нас пропорциональны расстоянию до неё:

$$v = H_0 r,$$

где v — скорость удаления галактики, км/с; r — расстояние до галактики, мегапарсек (Мпк); H_0 — коэффициент пропорциональности (постоянная Хаббла), км/(с · Мпк).

Значение *постоянной Хаббла* составляет около 72 км/(с · Мпк), т. е. галактика, удалённая на расстояние 1 Мпк, удаляется от нас со скоростью 72 км/с.

На основании закона Хаббла можно рассчитать примерный возраст Вселенной. Предположим, две галактики находятся друг от друга на расстоянии 1 Мпк ($3 \cdot 10^{19}$ км). Допустим, они всегда разлетались с постоянной скоростью 72 км/с. Тогда время от начала движения составляет:

$$t = \frac{3 \cdot 10^{19} \text{ км}}{72 \text{ км/с}} \approx 4 \cdot 10^{17} \text{ с, это примерно 13 млрд лет.}$$

Полученное значение относительно близко к ныне принятому возрасту Вселенной — около 14 млрд лет.

Удаление галактик, которое происходит во все стороны со скоростями, прямо пропорциональными расстоянию от нас, вовсе не означает, что Галактика занимает какое-то особое положение во Вселенной. Точно такая же картина «разбегания» галактик будет наблюдаться для любой другой галактики.

В связи с выводом о расширении Вселенной нередко возникает вопрос: «Куда и во что расширяется Вселенная?» Постановку такого вопроса нельзя признать правомерной, поскольку Вселенная — это всё, что существует, и вне Вселенной нет вообще ничего — ни материи в каком-либо виде, ни пространства, ни времени.

Развернувшиеся на протяжении всего XX в. исследования Вселенной потребовали решения целого ряда фундаментальных проблем физики и позволили достичь во многих из них очень существенных и важных для современной науки результатов.



И когда разбеганье галактик
Наблюдаешь в космической мгле,
То не столь теоретик, сколь практик,
Обращаешь ты взоры к Земле.

Л. Мартынов

ГОРЯЧАЯ ВСЕЛЕННАЯ И БОЛЬШОЙ ВЗРЫВ. Взаимное удаление галактик означает, что в прошлом они были гораздо ближе друг к другу, чем теперь. В ещё более раннюю эпоху плотность вещества была так велика, что во Вселенной не могло существовать ни галактик, ни звёзд и никаких других наблюдаемых ныне объектов. Расчёты условий, существовавших во Вселенной в далёком прошлом, проведённые на основе космологических моделей Фридмана, показали, что в момент начала расширения Вселенной её вещество должно иметь огромную (бесконечно большую) плотность.

В 1948 г. в работах ученика Фридмана Г. А. Гамова (1904—1968), российского физика-теоретика, работавшего в США, и его сотрудников была выдвинута гипотеза о том, что вещество во Вселенной на начальных стадиях расширения имело не только большую плотность, но и высокую температуру. Впервые к решению проблем космологии

были применены идеи ядерной физики, которая в те годы бурно развивалась в связи с разработкой атомного оружия.

Теперь теорию горячей Вселенной и процессы, происходившие на начальном этапе её расширения, часто называют **Большим взрывом**. Вполне естественно, что эти слова «Большой взрыв» вызывают ассоциации с обычным взрывом. Существует, однако, чрезвычайно важное отличие Большого взрыва от взрыва обычного. Это отмечал, в частности, выдающийся российский физик академик *Я. Б. Зельдович* (1914—1987). При взрыве какого-либо заряда, когда в малом объёме выделяется значительная энергия, вещество заряда сильно нагревается и испаряется. Возникающий при этом перепад давлений создаёт силу, которая и разбрасывает вещество. При Большом взрыве никаких перепадов давления и плотности вещества в начале расширения Вселенной не было, как не было ещё и самого вещества.

Согласно расчётам Г. А. Гамова и его сотрудников, спустя 0,1 с после начала расширения температура была около 30 млрд кельвинов. В этом очень горячем и плотном веществе ранней Вселенной должны были происходить термоядерные реакции, которые обусловили наблюдаемое сегодня относительное содержание химических элементов.

По мере расширения плотность вещества и его температура уменьшались. Позднее, когда температура в расширяющейся Вселенной опустилась ниже миллиарда кельвинов, стало возможным сохранение некоторого количества ядер дейтерия и образование гелия. Спустя пять минут после начала расширения, когда температура во Вселенной стала недостаточной для термоядерных реакций, вещество состояло из смеси ядер водорода (70% массы) и ядер гелия (30%). Таким его состав остался до того времени, пока не началось образование звёзд и галактик. Исследования показали, что в настоящее время содержание гелия в звёздах и межзвёздном веществе действительно составляет около 30% по массе, что хорошо согласуется с выводами теории.

Спустя примерно миллион лет после начала расширения, когда температура упала до 4000 К, ядра атомов водорода и гелия, захватывая электроны, превращались в нейтральные атомы. Эта эпоха явилась важнейшим этапом в эволюции Вселенной. Только после появления нейтрального вещества стало возможным формирование отдельных космических тел и их систем.

РЕЛИКТОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ. Теория горячей Вселенной предсказывала также существование электромагнитного излучения, оставшегося от того далёкого прошлого, когда вещество Вселенной было плотным и горячим. В процессе расширения Вселенной снижалась как температура вещества, так и температура излучения. Согласно первым расчётам, проведённым в середине XX в., температура этого излучения к

настоящему времени должна быть очень низкой — в пределах от долей кельвина до 20—30 К. Электромагнитное излучение со столь малой температурой представляет собой не что иное, как радиоволны сантиметрового и миллиметрового диапазона. Для этого излучения выдающийся российский астрофизик *И. С. Шкловский* (1916—1985) предложил название «реликтовое».

Открытие реликтового излучения произошло в какой-то мере случайно. В 1965 г. сотрудники американской компании «Bell» А. Пензиас и Р. Вилсон обнаружили слабый радиошум, приходящий из космоса и не зависящий от направления антенны. Наблюдения, проведённые ими на волне 7,35 см, показали, что температура обнаруженного излучения составляет около 3 К. В настоящее время наиболее точным значением температуры реликтового излучения считается 2,725 К.

Обнаружение реликтового излучения является одним из многих примеров в истории науки, когда предсказание ранее неизвестного явления было сделано задолго до появления технических возможностей его обнаружения. Это лишний раз подчёркивает наличие у теории «предсказательной» функции. Обнаружение реликтового излучения стало решающим наблюдательным подтверждением теоретических выводов современной космологии.

ОТКРЫТИЕ АНТИТЯГОТЕНИЯ (ТЁМНОЙ ЭНЕРГИИ). Вплоть до самого конца XX в. не возникало сомнений в том, что вследствие действия сил тяготения расширение Вселенной происходит с замедлением. Если замедление мало, то расширение может продолжаться неограниченно. Но если оно достаточно велико, то расширение в конце концов должно прекратиться и даже смениться сжатием — уменьшением расстояний между галактиками. Ситуация вполне аналогична той, которая возникает при запуске космических аппаратов. Величина второй космической скорости, которую необходимо сообщить аппарату для того, чтобы он покинул ту или иную планету, зависит от массы этой планеты.

Чтобы определить, насколько велико замедление расширения Вселенной, необходимо было знать среднюю плотность её вещества. Однако эту величину не удавалось определить с достаточной степенью точности.

Возможен и другой подход: установить зависимость скорости галактики от расстояния до неё. В первом приближении она выражается законом Хаббла. Чтобы проверить, насколько эта зависимость выполняется для наиболее удалённых объектов, необходимо определить скорость галактики и её расстояние независимо друг от друга. Для измерения таких огромных расстояний используется метод *фотометрического параллакса*. Поток фотонов, приходящих от источника излучения и регистрируемых наблюдателем, обратно пропорционален квадрату расстояния до источника. Если известна мощность излу-

ния (светимость) наблюдаемого объекта, то, измерив поток света, можно вычислить, на каком расстоянии этот объект находится.

Таковыми объектами с известной светимостью являются наиболее яркие сверхновые звёзды, светимость которых в момент вспышки сравнима со светимостью целой галактики. При наблюдениях этих звёзд независимо измерялись две величины. Первая — красное смещение линий в спектре. Оно выражается величиной $z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0$, где λ — длина волны регистрируемого излучения, а λ_0 — длина волны испускаемого излучения. Вторая — блеск звезды, который выражается в звёздных величинах — m . По существу, это освещённость, которая создаётся звездой на плоскости, перпендикулярной к лучу зрения. В физике эта величина измеряется в *люксах* (лк).

После нескольких лет наблюдений, которые были проведены двумя независимыми группами астрофизиков, выяснилось, что наблюдаемое отклонение от закона Хаббла существенно превышает ошибки измерения. На основе этих данных был сделан важный вывод: Вселенная расширяется с ускорением. Это может объясняться только наличием *антитяготения*, которое определяет динамику расширения Вселенной в современную эпоху. Его открытие, которое оказалось неожиданным для большинства людей, подтвердило предвидение Эйнштейна, а также выводы физиков-теоретиков относительно происходящих во Вселенной процессов.

В настоящее время принято считать, что в своей первой работе по космологии Эйнштейн, по сути дела, выдвинул следующую гипотезу: во Вселенной существует не только взаимодействие обычного вещества, все частицы которого (молекулы, атомы, а также входящие в их состав протоны, электроны, нейтроны и т. д.) испытывают взаимное притяжение, но и совсем другое взаимодействие — не притяжение, а отталкивание.

Несмотря на то что наблюдаемая величина ускорения расширения Вселенной невелика, учёным удалось не только выявить влияние космического вакуума — **тёмной энергии**, но и вычислить плотность его энергии. Известно, что масса и энергия связаны между собой формулой $E = mc^2$. Оказалось, что соответствующая плотность тёмной энергии составляет $7,3 \cdot 10^{-30}$ г/см³. Средняя плотность обычного вещества (звёзды, галактики, туманности) меньше — около $4 \cdot 10^{-31}$ г/см³, а холодной тёмной материи примерно $2,3 \cdot 10^{-30}$ г/см³. Стало быть, на тёмную энергию приходится не менее 73% всей энергии Вселенной, на тёмное вещество около 24%, на обычное вещество примерно 3%, а на излучение ещё в 100 раз меньше.

По своим свойствам космический вакуум (тёмная энергия) принципиально отличается от всех других, обычных составляющих Вселенной. Все обычные составляющие имеют неоднородную плотность, которая со временем уменьшается в процессе космологического рас-

ширения и может быть различной в разных системах отсчёта. Космический вакуум обладает постоянной во времени и в пространстве плотностью, которая одинакова в любой системе отсчёта. Ещё одним уникальным свойством вакуума является то, что, действуя на вещество своим антитяготением и определяя свойства пространства-времени, он не испытывает обратного влияния ни вещества, ни геометрии пространства-времени.

Открытие тёмной энергии значительно упростило ответ на вопрос о будущем Вселенной. В процессе расширения средняя плотность вещества и излучения будет постоянно убывать. Вместе с тем влияние тёмной энергии, плотность которой остаётся постоянной, будет только усиливаться. Если раньше рассматривались различные варианты: расширение с замедлением, смена расширения сжатием, — то теперь становится возможным только один вариант будущего Вселенной — неограниченное расширение.

Успехи современной космологии в очередной раз показали безграничные возможности человеческого разума, который способен познавать процессы, происходившие во Вселенной миллиарды лет тому назад.



О том, что собой представляет Земля как планета Солнечной системы, вы узнаете из следующих параграфов этой главы.

Вы знаете

- ▶ что изучает космология
- ▶ гипотезу Большого взрыва об образовании Вселенной

Вы можете

- ▶ объяснить суть теории Большого взрыва
- ▶ объяснить, в чём заключается красное смещение и чем оно вызвано

Выполните задания

1. Назовите гипотезу происхождения Вселенной. Расскажите, в чём её суть. Какие астрономические наблюдения подтверждают эту гипотезу?
2. Объясните, в чём заключается эффект Доплера.
3. Перечислите единицы расстояний, которые используются в астрономии.

Темы для рефератов

1. Наша галактика — Млечный Путь.
2. Мифология в астрономии.

§ 15. Строение Земли. Литосфера

1. Назовите три города на юге Италии, которые были разрушены и погребены под слоем пепла в результате извержения Везувия в 79 г. н. э.
2. Покажите на карте наиболее сейсмически опасные районы земного шара, где особенно много вулканических гор и где наиболее часты землетрясения.
3. Из курса географии вспомните, каково внутреннее строение Земли.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕМЛИ. Словосочетание «земной шар» входит в нашу жизнь уже с детского сада. И на самом деле наша планета — шар, только немного сплюснутый вблизи полюсов, что является результатом её вращения вокруг своей оси. Поэтому земной шар имеет как бы два диаметра: экваториальный, равный 12 725 км, и полярный, равный 12 714 км. Площадь поверхности Земли 510,2 млн км². Масса нашей планеты равна $5,976 \cdot 10^{21}$ т. Если её принять за единицу, то масса Венеры будет равна 0,815 массы Земли, а Марса 0,108, т. е. из планет земной группы Земля имеет самую большую массу. Зато Земля уступает таким гигантским планетам, как Сатурн, масса которого в 95,1 раза больше массы Земли, и Юпитер, который тяжелее Земли в 317,8 раза.

Средняя плотность земного вещества составляет 5,52 г/см³ — выше, чем у других планет Солнечной системы, кроме Меркурия. Определено, что средняя плотность минералов на поверхности Земли вдвое меньше средней плотности планеты. Следовательно, можно говорить о значительном увеличении плотности от поверхности планеты к её центру, где она достигает 13,6 г/см³.

ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ. Ядро Земли имеет температуру, достигающую 3000 °С. Внешняя часть ядра жидкая, а внутренняя скорее всего твёрдая, так как давление, оказываемое на него наружными слоями, огромно. Ядро планеты состоит из железа и никеля. Так как жидкая часть ядра движется, то вокруг Земли возникает магнитное поле. Оно защищает живые существа нашей планеты от губительного воздействия заряженных космических частиц.

Под действием исходящих от Солнца потоков плазмы — солнечного ветра — магнитное поле Земли искажается и вытягивается в направлении от Солнца на сотни тысяч километров в виде шлейфа.

» **Напомним,** что магнитные полюса Земли не совпадают с её географическими полюсами. Ось магнитного поля наклонена к оси вращения Земли на 11°.

Вокруг ядра расположена **мантия** (от *греч.* *mantion* — покрывало), температура у ядра выше 2000 °С, а ближе к поверхности — 800 °С. По химическому составу мантия представлена диоксидом кремния и оксидами магния, железа, алюминия, кальция. Внутренняя часть мантии твёрдая (из-за высокого давления), а внешняя — размягчена, пластична. На внешней части мантии, как льдины в воде, подвижно расположены литосферные плиты. Верхний слой мантии переходит в твёрдую слоистую внешнюю оболочку планеты — **земную кору**.

Литосфера — это внешняя твёрдая оболочка Земли, которая включает всю земную кору с частью верхней мантии и состоит из осадочных, изверженных и метаморфических пород.

Вещества внешней части мантии, которые проникают в земную кору и изливаются на её поверхность, называются **магмой** (от *греч.* *magma* — густая мазь). Излившуюся на поверхность магму называют **лавой**. Она образуется при извержении вулканов (рис. 56). Извержение сопровождается выделением в атмосферу различных газов: водя-

ной пар H_2O , хлороводород HCl , сероводород H_2S , сернистый газ SO_2 , углекислый газ CO_2 и др.

В местах вулканической деятельности возникают горячие, часто фонтанирующие источники — **гейзеры**. Наиболее известна в нашей стране Долина гейзеров на Камчатке (рис. 57).

Толщина литосферы составляет всего 1,5% диаметра Земли, а её масса — 0,8% массы Земли. В глубину планеты земная кора простирается от 5 км (под океанами) до 70 км (под горными вершинами). Литосфера на 90% состоит из кислорода, кремния, алюминия, железа, кальция, калия, натрия, магния. Эти восемь элементов образуют оксиды, из которых более половины приходится на диоксид кремния, а около 15% — на оксид алюминия.



Рис. 56. Извержение вулкана



Рис. 57. Долина гейзеров на Камчатке

ГОРНЫЕ ПОРОДЫ. ЛИТОСФЕРНЫЕ ПЛИТЫ. Перечисленные выше оксиды образуют однородные по физическим свойствам природные тела — минералы, из которых состоят **горные породы**. Горные породы по происхождению делятся на магматические, осадочные, метаморфические.

Магматические горные породы составляют 60% земной коры и образуются при застывании магмы на её поверхности (например, базальты) или в глубине земной коры (граниты).

Осадочные породы (песок, галька) образуются в результате отложения на суше и на дне океанов обломков магматических (гранит, базальт) или метаморфических (мрамор, гнейс) горных пород, остатков живых организмов (известняк, каменный уголь), а также являются продуктами химических реакций (соли).

Метаморфические породы — это результат превращения разных горных пород под действием давления, температуры или химических веществ (мрамор, гнейс).

Верхний слой литосферы состоит из осадочных пород, а нижний — из базальтов. Средний слой литосферы составляют в основном гранитные породы, но это характерно только для континентальной (материковой) коры.

Литосферу можно сравнить со скорлупой, которая, подобно яичной, охватывает всю поверхность Земли. Но «земная скорлупа» как бы расщелкалась на части и состоит из нескольких крупных литосферных



Рис. 58. Литосферные плиты

плит (рис. 58), которые медленно перемещаются относительно друг друга.

Учёные насчитали 9 громадных плит (3 океанические и 6 смешанного состава) и множество плит поменьше. Океанические плиты находятся на дне океанов, а плиты с океанической и материковой корой объединяют континентальные площади с участками дна океана.

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ. Взаимное перемещение плит часто приводит к деформации их краёв. Когда предел упругих деформаций пород, образующих плиты, превосходит допустимые значения, возникают разломы и землетрясения. Поэтому пограничные области между плитами называют **поясами сейсмичности**. Именно здесь происходит почти 95% всех землетрясений планеты.

Основные очаги землетрясений расположены в двух узких сейсмических поясах, окаймляющих земной шар, — тихоокеанском и средиземноморском. *Тихоокеанский пояс* протянулся вдоль восточного побережья Азии, к северу и востоку от Австралии, вдоль западного побережья Америки (68% всех землетрясений, особенно часто в Японии и на Филиппинах). *Средиземноморский пояс* охватывает острова Зелёного Мыса, Португалию, Средиземное и Чёрное моря, Малую Азию, Гималаи и Индонезию с боковой ветвью в сторону Центрального Китая. В этом поясе происходит 21% землетрясений.

В России основными сейсмическими районами являются Кавказ, район Байкала, Камчатка, Курильские острова.

По характеру процессов, происходящих в недрах Земли, выделяют несколько типов землетрясений, среди которых основными являются тектонические и вулканические.

Причиной *тектонических землетрясений* являются глубинные разломы в земной коре.

Вулканические землетрясения происходят при резких перемещениях расплава магмы в недрах Земли или в результате возникновения разломов в коре под влиянием этих перемещений.

В результате землетрясений, происходящих в толще Земли, возникают сейсмические волны.

Сейсмические волны — это упругие колебания, распространяющиеся от очагов землетрясений в толще Земли с достаточно большой скоростью на большие расстояния.

Наиболее сильные землетрясения иногда ощущаются на расстояниях более 1500 км от их очага. Очаги большей части землетрясений лежат в земной коре на глубинах не более 16 км, однако в некоторых районах глубины очагов достигают 700 км. Скорость распространения сейсмических волн и их характер зависят от упругих свойств и плотности пород. Такие волны могут быть как поперечными, так и продольными.

Сейсмические волны регистрируются специальными приборами — *сейсмографами*. Сейсмограф сначала регистрирует продольные волны. При их прохождении области среды сначала сжимаются, а затем расширяются, совершая колебания в направлении распространения волны. Следующими регистрируются поперечные сейсмические волны, называемые также вторичными.

Помимо продольных и поперечных сейсмических волн, существуют ещё поверхностные волны. Поверхностные волны возникают на границе раздела двух сред, находящихся в разных агрегатных состояниях (жидкость — газ, твёрдое тело — газ и т. д.) под воздействием колебаний, приходящих от очага землетрясения к этой границе.

Вблизи очага землетрясения наблюдаются колебания с различными периодами — от долей секунды до нескольких секунд. С увеличением расстояния от

» **Напомним,** что *землетрясения* — это колебания Земли, вызванные внезапными изменениями в состоянии недр планеты.

» **Напомним,** что в поперечной волне колебание частиц среды происходит перпендикулярно направлению волны. В продольной волне колебание частиц среды происходит вдоль направления распространения волны.

очага землетрясения период колебаний увеличивается. Так, на расстояниях порядка сотен километров он составляет от 1 до 10 секунд для продольных волн и несколько большее значение имеет для поперечных волн. Значение периода поверхностных волн лежит в интервале от нескольких секунд до нескольких сотен секунд.

Амплитуда колебаний значительна вблизи очага, однако с увеличением расстояния она уменьшается, и на расстояниях 1500 км и более она меньше 10^{-6} м для продольных и поперечных волн и меньше 10^{-10} м — для поверхностных волн.

Для характеристики силы землетрясения используют особую величину, называемую магнитудой.

Магнитуда землетрясения — это величина, характеризующая энергию, выделившуюся при возникновении сейсмических волн.

Шкалу магнитуд называют **шкалой Рихтера** в честь американского сейсмолога *Ч. Рихтера* (1900—1985), который и предложил её в 1935 г. (Не путать со шкалой оценки силы землетрясения в баллах по 12-балльной системе!) В соответствии с ней землетрясения можно классифицировать следующим образом (в условных единицах — магнитудах, которые вычисляются по колебаниям, регистрируемым сейсмографом):

- 2 — самые слабые ощущаемые толчки;
- 4,5 — слабые толчки, приводящие к небольшим разрушениям;
- 6 — умеренные разрушения;
- 8,5 — самые сильные из известных землетрясений.



Рис. 59. К. Брюллов. Последний день Помпеи. 1830—1833 гг.

Во время сильных землетрясений образуются трещины, уступы, оползни. Разрушаются строения — здания, мосты, плотины, гибнут люди и животные, горят леса.

На картине *К. П. Брюллова* (1799—1852) «Последний день Помпеи» (рис. 59) в выразительной художественной форме изображено извержение в 79 г. н. э. вулкана Везувия, погубившего цветущий город Помпеи близ Неаполя, а также города Геркуланум, Стабии и множество посёлков.

ЦУНАМИ. При извержениях подводных вулканов или при подводных землетрясениях образуются цунами (в переводе с японского — «приливные волны»).

Цунами — это длинные волны, порождаемые мощным воздействием на всю толщу воды в океане или другом водоёме.

Причиной 85% всех цунами являются подводные землетрясения (рис. 60). При землетрясении под водой образуется вертикальная трещина и часть дна опускается, а часть повышается. Дно перестаёт поддерживать столб воды, лежащий над ним. Поверхность воды опускается, столб воды приходит в колебательное движение в вертикальном направлении и порождает волны.



Рис. 60. Цунами

Водная поверхность при землетрясении может опуститься всего на несколько десятков сантиметров, но при этом масса потерявшего опору в океане столба воды будет огромной. Поэтому возникающие цунами имеют маленькую высоту и очень большую длину волны. Так, в результате землетрясения, которое произошло в 1923 г. в Японии, рельеф дна изменился на площади 150 км², при этом одни участки дна поднялись на 230 м, другие опу-

Везувий зев открыл — дым хлынул клубом — пламя
Широко разлилось, как боевое знамя.
Земля волнуется — с шатнувшихся колонн
Кумиры падают! Народ, гонимый страхом,
Под каменным дождём, под воспалённым прахом,
Толпами, стар и млад, бежит из града вон.

А. Пушкин



стились на 400 м. В результате подъёма дна была вытолкнута на поверхность вода, объём которой составил 23 км³. Цунами — это обычно серия волн, но так как волны длинные, между их появлением может проходить более часа. С учётом причин возникновения эти волны часто называют сейсмическими.



На море штиль, но в мире нет покоя —
Локатор ищет цель за облаками.
Тревога — если что-нибудь такое —
Или сигнал: внимание — цунами!
В. Высоцкий

Цунами, обрушиваясь на берег, являются причиной страшных разрушений и гибели людей. Во время цунами в декабре 2004 г. в Юго-Восточной Азии погибло 235 000 человек и остались без крова более полумиллиона. Ещё долго из памяти человечества не сотрётся землетрясение,

произшедшее 11 марта 2011 г. в Японии, которое вызвало цунами и привело к затоплению и разрушению городов, авариям и остановке работы реакторов на нескольких атомных станциях и гибели более 25 000 человек.



В следующем параграфе мы поговорим о водной оболочке Земли — гидросфере.

Вы знаете

- ▶ физические характеристики Земли
- ▶ внутреннее строение Земли и химический состав литосферы
- ▶ типы горных пород и литосферных плит
- ▶ причины землетрясений и цунами

Вы можете

- ▶ назвать основные физические характеристики Земли
- ▶ перечислить типы горных пород в зависимости от их происхождения
- ▶ показать основные пояса сейсмичности на Земле
- ▶ дать краткую характеристику таких природных катаклизмов, как извержение вулканов, землетрясения, цунами, рассказать о причинах их возникновения

Выполните задания

1. Охарактеризуйте физические параметры Земли и объясните, почему земной шар сплюснут.

2. Изобразите на схеме внутреннее строение нашей планеты, подпишите названия составных частей, дайте их характеристику.
3. Назовите горные породы и слои литосферы, которые из них состоят.
4. Объясните, как происходит извержение вулкана.
5. Ответьте, какая величина (и условная единица) используется для характеристики силы землетрясений.

🕒 Темы для рефератов

1. Наиболее сильные извержения вулканов в XX—XXI вв. 2. Крупнейшие гейзеры мира (Исландия и Камчатка). 3. Землетрясение и цунами в Японии в 2011 г. 4. Отображение природных катастроф в литературе и искусстве.

§ 16. Гидросфера

1. Перечислите мореплавателей, совершавших кругосветные плавания в эпоху Великих географических открытий, чьими именами названы моря, заливы, проливы и т. п.
2. Оцените вклад российских учёных и мореплавателей в исследование морей и океанов. В каких географических названиях увековечены их имена?
3. Назовите литературные произведения, посвящённые морским путешествиям, исследованиям океанов и морей.

СОСТАВ ГИДРОСФЕРЫ. Не зря мы называем свою Землю голубой планетой, из космоса она так и выглядит — голубым шаром. И это благодаря гидросфере (от *греч.* *hýdōr* — вода и *spháira* — шар) — водной оболочке, подобной которой нет ни на одной из планет Солнечной системы.

Гидросфера — это единая водная оболочка Земли, которая включает в себя всю воду: жидкую, твёрдую, газообразную.

Гидросфера состоит из Мирового океана, вод суши и воды в атмосфере. Общий объём её около 1400 млн км³, из которых на долю Мирового океана приходится 96,5%. Доля материковых вод составляет лишь 3,5%, из которых 1,8% содержится в виде льда и постоянного снега (Антарктида, Гренландия) и только 1,7% в виде жидкой воды подземных вод, рек, озёр, болот и других водоёмов. В атмосфере вода

присутствует в виде водяного пара, капель воды и кристаллов льда, из которых состоят облака.

МИРОВОЙ ОКЕАН. Древние греки называли океан «рекой, обтекающей землю». В этом представлении отразилась глубокая мудрость предков, предвосхитивших современное видение Мирового океана как сплошной водной оболочки нашей планеты, в которой материки не более чем крупные острова в океане.

Мировой океан — это основная часть гидросферы, водная оболочка, окружающая материки и острова и обладающая общностью солевого состава.

На долю океана приходится 361 млн км² из 510 млн км² общей площади Земли, т. е. 70,8%.

Воды Мирового океана распределены по поверхности Земли очень неравномерно. И эту поверхность можно разделить на два полушария так, что на одном окажется наибольшая часть вод, а на другом — наибольшая часть суши. Первое обычно называют океаническим (рис. 61, а) полушарием, второе — материковым (рис. 61, б). Важно подчеркнуть, что даже в материковом полушарии на долю океана приходится 53%, а в океаническом доля суши составляет лишь 9%.

Мировой океан и сушу связывает большой, или мировой, круговорот воды. Он состоит из испарения воды со всей поверхности Мирового океана, переноса влаги в атмосфере, выпадения осадков над океаном и над сушей, их просачивания, поверхностного и подземного стоков снова в океан. Таким образом происходит постепенное обновление воды во всех частях гидросферы.

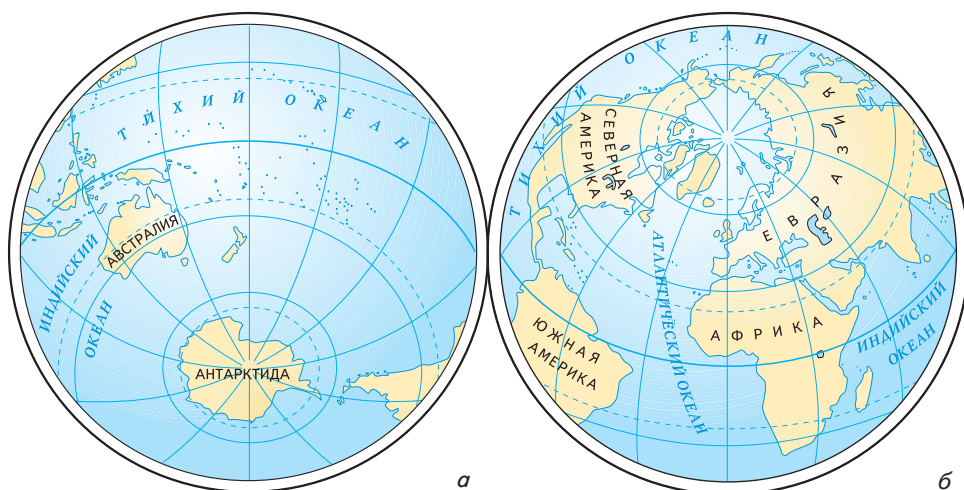


Рис. 61. Полушария Земли: а — океаническое и б — материковое

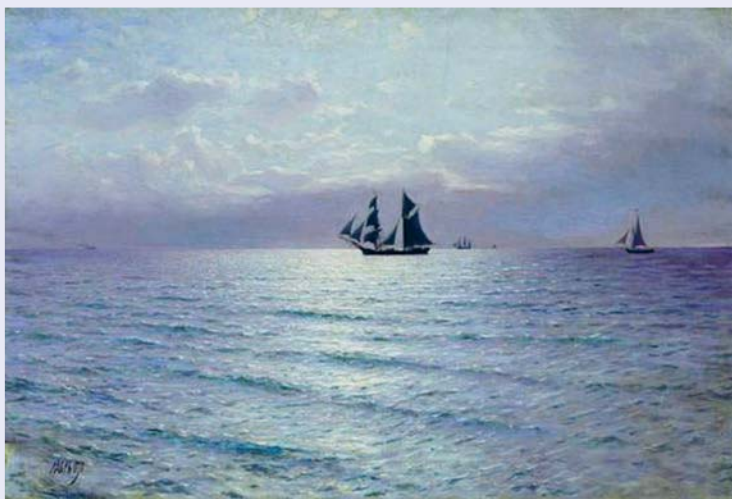


Рис. 62.
Л. Лагорио. Море.
1898 г.

ОКЕАНЫ И МОРЯ. Мировой океан состоит из четырёх соединённых между собой океанов: Тихого, Атлантического, Индийского и Северного Ледовитого. В последние годы стали выделять ещё Южный океан, окружающий Антарктиду.

Океан — это крупная часть Мирового океана, обладающая всеми присущими ему свойствами.

Океаны, вдаваясь в сушу, образуют моря (рис. 62).

Море — это часть океана, обособленная сушей или возвышениями подводного рельефа и отличающаяся от открытой части океана солёностью и температурой воды.

Условно морями называют также некоторые открытые части океанов (например, Саргассово море) и некоторые крупные озёра (Мёртвое, Каспийское, Аральское).

Классификацию морей осуществляют по нескольким признакам.

По расположению различают *внутренние* (Чёрное — внутриматериковое, Средиземное — межматериковое), *окраинные* (Балтийское, Чукотское) и *межостровные* (Яванское, Саргассово) моря.

По происхождению котловин моря подразделяют на *материковые* (Карское) и *океанические* (Красное).

Моря составляют около 10% площади Мирового океана. Самое большое по площади — Филиппинское море (5726 км²), оно же и самое глубокое. Его глубина в отдельных точках превышает 10 км.

ОКЕАНИЧЕСКАЯ ВОДА. Океаническая вода — это раствор различных веществ. Она имеет солёный вкус, так как в среднем в литре океанической воды растворено 35 г различных солей, т. е. средняя солёность океанической воды составляет 35‰.

» **Напомним,** что содержание солей в водах Мирового океана принято выражать не в сотых долях — процентах (%), а в тысячных долях — промилле (‰).

Из них на долю хлорида натрия — поваренной соли — приходится 85%. Самое солёное на Земле море — Красное (42‰), самое пресное — Балтийское (от 6 до 11‰). Горьковатый вкус океанической воде придают соли магния.

Кроме того, вода Мирового океана содержит соли калия, кальция, стронция, из которых наиболее характерны хлориды и сульфаты. Морская вода содержит также соединения брома, фтора, а также почти все остальные элементы таблицы Менделеева. Солёность океанической воды практически не изменяется во времени: соли поступают в океан с водами рек, а уходят из него вместе с брызгами воды, попадающими в атмосферу, а затем на сушу, осаждаются на дне в виде минералов, расходуются на построение скелетов и раковин морских организмов.

Солёность воды в открытых океанах зависит от расстояния до устья крупных рек, от таяния льдов, количества выпавших осадков, испарения и от скорости перемешивания воды под действием ветров и течений.

Кроме минеральных и органических веществ, океаническая вода содержит растворённые газы — кислород, азот, углекислый газ, сероводород, аммиак, метан. И их количество в водах морей и океанов тоже различно. Например, глубинные воды Чёрного моря насыщены сероводородом, поэтому на глубине более 200 м практически отсутствует флора и фауна, там можно встретить лишь некоторые виды анаэробных бактерий.

» **Напомним,** что *анаэробные бактерии* — бактерии, развивающиеся при отсутствии в окружающей среде кислорода.

Цвет воды в разных районах океанов и морей сильно различается, но чаще всего он представлен оттенками синего. Это обусловлено тем, что самые коротковолновые лучи солнечного спектра — синие — рас-

сеиваются во всех направлениях, когда проникают в воду, и за счёт этого придают ей синий оттенок. Зависит цвет от интенсивности и угла падения солнечных лучей. Так, во время захода солнца ярко-синий сменяется золотым. Цвет морской воды зависит и от взвешенных в ней различных частиц. Например, Жёлтое море так называли из-за жёлтой окраски почвенных частиц, сбрасываемых в это море реками Китая.



Рис. 63. Айсберг

ЛЁД В МИРОВОМ ОКЕАНЕ. АЙСБЕРГИ. Лёды широко распространены в Мировом океане. Северный океан даже носит красноречивый дополнительный «титул» — Ледовитый. Водные просторы вокруг Антарктиды, а также вокруг Гренландии — самого большого острова в мире — покрыты многометровой толщиной льда.

По происхождению льды, которые плавают в морях и океанах, бывают не только морскими (образовавшимися при замерзании солёной воды), но и пресными — которые образуются в реках и выносятся ими в море или сползают с материков и островов. Материковые льды в океане образуют **айсберги** (рис. 63) — ледяные горы, некоторые из которых достигают десятков километров в длину и ширину. В зависимости от плотности льда и воды подводная часть айсберга обычно составляет 83—90%.

Северной родиной айсбергов является Гренландия, которая непрерывно накапливает лёд на своей поверхности, а потом сбрасывает излишки в воды Атлантики. Южная родина айсбергов — Антарктида. Десятки судов стали жертвами этих плавающих ледяных гор. В апреле 1912 г. затонул английский пароход «Титаник» — крупнейшее пассажирское судно своего времени длиной 269 м и водоизмещением 46,3 тыс. т. Он не успел уклониться от айсберга, что привело к столкновению.

ВОЛНЫ. Вода Мирового океана находится в непрерывном движении, которое происходит не только на поверхности, но и в его глубинах.



Утёсы. Зной и сон в пустыне,
Песок да звонкий хрящ кругом,
И вдалеке земной твердыне
Морские волны бьют челом.

На той черте уже безвредный,
Не докатясь до красных скал,
В последний раз зелёно-медный
Сверкает Средиземный вал;

И, забывая век свой бурный,
По пёстрой отмели бежит
И преломлённый и лазурный;
Но вот преграда — он кипит,

Жемчужной пеною украшен,
Встаёт на битву со скалой
И, умирающий, всё страшен
Всей перейдённой глубиной.

А. Фет. «Прибой»

На поверхности возникают волны, в которых различают верхнюю часть — гребень и нижнюю — подошву. Под напором ветра частицы воды в гребне волны движутся по направлению волны, а в подошве — в противоположную сторону, совершая путь по круговым орбитам. Поэтому предметы не движутся на волне, а колеблются, и такие волны называют колебательными. Высота волны в метрах определяет степень волнения в баллах. Если высота волны равна 0, то степень волнения также равна 0 баллов, и такое состояние моря называют **штилем** (рис. 64). Нередко на море наблюдается волнение, когда ветер уже стих, а море всё не успокаивается, оно словно дышит, медленно поднимаясь и опускаясь, — это **зыбь**. Вид волн у берегов,

где уменьшается глубина моря, резко меняется. Скорость волн из-за трения о дно затухает, но высота растёт, передний склон становится всё круче, на гребне появляется пена, и волна с грохотом обрушивается на берег — так возникает **прибой**. Покорение волн прибою с помощью доски породило вид спорта — сёрфинг.

Если скорость ветра достигает 20 м/с и более, то начинается **шторм** (рис. 65), и такое волнение на море оценивается высокими баллами



Рис. 64. И. Айвазовский. Штиль на Средиземном море. 1892 г.



Рис. 65.
И. Айвазовский.
Ураган на море.
1899 г.

(8—9). Волны напоминают горы, их много, и они с грохотом обрушиваются в море, над волнами летят тучи брызг. Судам в это время лучше находиться в порту.

Если волны порождены не ветром, а землетрясением, то возникает, как вам известно, цунами.

Под действием сил притяжения Луны и Солнца происходят ритмичные подъёмы и опускания вод морей и океанов, не зависящие от погоды, — **приливы и отливы**. Так как Земля вращается вокруг своей оси, прилив распространяется по поверхности Мирового океана огромной пологой волной, длина которой достигает многих сотен километров. Приливы обладают громадной энергией, которая в полтора раза больше, чем энергия всех рек планеты. Эта энергия используется для выработки электроэнергии на приливных электростанциях.

Свежеет ветер, меркнет ночь.
А море злей и злей бурлит,
И пена плещет на гранит —
То прынет, то отхлынет прочь.

Всё раздражительней бурун;
Его шипучая волна
Так тяжела и так плотна,
Как будто в берег бьёт чугун.

Как будто бог морской сейчас,
Всесилен и неумолим,
Трезубцем пригрозя своим,
Готов воскликнуть: «Вот я вас!»
А. Фет. «Буря»

МОРСКИЕ ТЕЧЕНИЯ. Толщу Мирового океана во всех направлениях пронизывают течения. Они образуются из-за того, что в разных его районах различны плотность воды, её солёность и температура. У экватора, где океан получает наибольшее количество энергии, наблюдается мощный восходящий поток более холодной воды из глубины. На-



Рис. 66. Течение Гольфстрим (схема)

дают стройную систему океанических течений, наиболее известное из которых Гольфстрим (рис. 66). Это тёплое течение в Атлантическом океане, оно начинается в Мексиканском заливе, имеет протяжённость более 10 000 км и достигает острова Новая Земля. Если взять сток всех рек земного шара, то всё равно он будет в 22 раза меньше количества воды, которое несёт Гольфстрим. Трудно переоценить его значение для формирования климата в Северном полушарии. Гольфстрим приносит в северные моря почти 45% всего тепла, которое они получают за год. Одна лишь Норвегия обогревается Гольфстримом так же, как от воображаемой печки, в которой сжигалось бы 100 000 т нефти в минуту!

Морские течения совершают неустанную работу, перемешивая Мировой океан. В результате вода разных частей океанов имеет сходный или незначительно различающийся солевой состав. Для морских обитателей течения несут корм туда, где его нет. Также течения способствуют перераспределению кислорода в водах Мирового океана.

Морская вода обладает большой удельной теплоёмкостью — 4200 Дж/(кг · °С). Такое значение удельной теплоёмкости приводит к тому, что вода, поглощая солнечную энергию, медленнее нагревается и медленнее охлаждается по сравнению с сушей. Вследствие разной удельной теплоёмкости воды и суши на морских побережьях возникают приятные прохладные ветры — *бризы*.

» **Напомним,** что *удельной теплоёмкостью* вещества называют физическую величину, равную количеству теплоты, которое необходимо для нагревания 1 кг вещества на 1 °С.

греваясь, она растекается к Арктике и Антарктике. Здесь вода вновь охлаждается и начинает опускаться, а затем направляется к экватору, чтобы снова нагреться и повторить всё сначала.

В океанах существует система поверхностных течений, которые зависят от направления господствующих ветров — пассатов и муссонов.

Совместные действия ветров, конвекция и вращение Земли соз-

дают стройную систему океанических течений, наиболее известное из которых Гольфстрим (рис. 66). Это тёплое течение в Атлантическом океане, оно начинается в Мексиканском заливе, имеет протяжённость более 10 000 км и достигает острова Новая Земля. Если взять сток всех рек земного шара, то всё равно он будет в 22 раза меньше количества воды, которое несёт Гольфстрим. Трудно переоценить его значение для формирования климата в Северном полушарии. Гольфстрим приносит в северные моря почти 45% всего тепла, которое они получают за год. Одна лишь Норвегия обогревается Гольфстримом так же, как от воображаемой печки, в которой сжигалось бы 100 000 т нефти в минуту!

Морские течения совершают неустанную работу, перемешивая Мировой океан. В результате вода разных частей океанов имеет сходный или незначительно различающийся солевой состав. Для морских обитателей течения несут корм туда, где его нет. Также течения способствуют перераспределению кислорода в водах Мирового океана.

Морская вода обладает большой удельной теплоёмкостью — 4200 Дж/(кг · °С). Такое значение удельной теплоёмкости приводит к тому, что вода, поглощая солнечную энергию, медленнее нагревается и медленнее охлаждается по сравнению с сушей. Вследствие разной удельной теплоёмкости воды и суши на морских побережьях возникают приятные прохладные ветры — *бризы*.

Накапливая и надёжно сохраняя энергию, океан влияет на формирование климата — континентального или морского. *Континентальный климат* — это сильные морозы зимой, палящее солнце и безоблачное небо летом, характерен для глубин-

ных районов суши. *Морской климат* — это прохладное лето и мягкая зима, он характерен для прибрежных районов суши.

Климат прибрежных стран Северной Атлантики в значительной мере определяется тремя течениями — тёплым Гольфстримом и холодными Лабрадорским и Восточно-Гренландским. Океан оказывает не только глобальное влияние на климат Земли, но и управляет погодой в местном масштабе.

ВОДЫ СУШИ. Воды суши — это воды озёр, рек, болот, ледников, водохранилищ, а также подземные воды. С ними вы познакомились в курсе географии, и тем не менее мы не можем не коснуться уникального национального достояния — озера Байкал (рис. 67).

В Байкал впадает 336 рек, а вытекает только одна — Ангара. Это самое крупное пресноводное озеро мира. Его прозрачная и чистая вода содержит очень мало минеральных солей — меньше 100 мг/л. И такой воды Байкал содержит 23 000 км³. Байкал требует бережного и деликатного отношения, тем более что проблема пресной воды носит глобальный характер.

Подземные воды — это воды, которые находятся под поверхностью земли, т. е. в толщах горных пород верхней части земной коры.

Горные породы в зависимости от способности пропускать воду бывают водопроницаемые (например, пески) и водоупорные (глины и кристаллические породы). Воды, прошедшие через водопроницаемые породы, скапливаются на глубине, задерживаясь там над водоупорным слоем и образуя тем

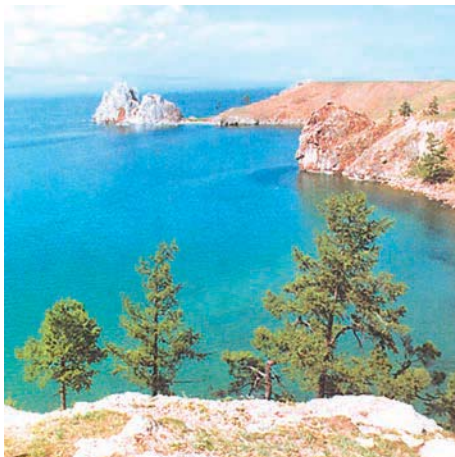


Рис. 67. Озеро Байкал

Байкал удивителен, и недаром сибиряки величают его не озером, а морем. Вода прозрачна необыкновенно, так что видно сквозь неё, как сквозь воздух; цвет у неё нежно-бирюзовый, приятный для нас.

А. Чехов

Я не знаю,
в стихах ли, в прозе ли,
но писать о Байкале надо.

Вот оно,
озеро и не озеро,
и не клад, а дорожке клада.

Пенится,
плещется
море пресное —
нет его в мире чище.

С чем сравнить?
Разве только с песнею,
ясною, как слезища.

С. Васильев

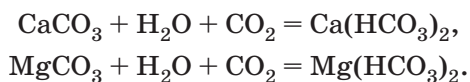
самым водоносные слои. Выход такого слоя на поверхность мы наблюдаем в виде **родников**.

Подземные воды, заключённые между двумя водонепроницаемыми слоями, называются **артезианскими**.

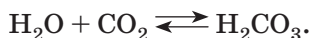
Глубинные подземные воды, выходящие наружу от магматических очагов, образуют горячие источники — гейзеры, о которых мы уже упоминали ранее.

Проходя через различные горные породы, подземные воды немного растворяют их и выходят на поверхность в виде **минеральных источников**. Наиболее известны источники Северного Кавказа — серные воды Пятигорска, щёлочно-солевые воды Ессентуков, углекислые воды Кисловодска, железистые минеральные воды Железноводска.

КАРСТ. Растворение горных пород природными водами называется **карстом**. В основе карстовых явлений лежит химический процесс превращения нерастворимых солей угольной кислоты — карбонатов кальция и магния в растворимые — гидрокарбонаты:



Процесс происходит под влиянием углекислого газа, который растворяется в воде, образуя угольную кислоту:



Под действием именно этой кислоты карбонатные породы (известняк CaCO_3 и доломит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$) превращаются в гидрокарбонаты. В итоге образуются карстовый рельеф и карстовые пещеры.

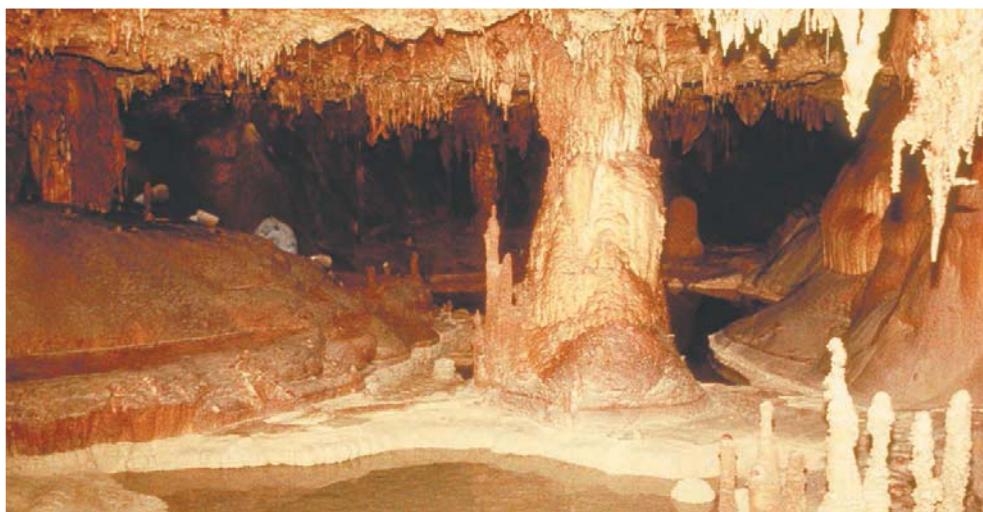
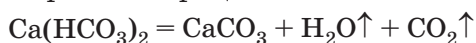


Рис. 68. Карстовая пещера со сталактитами и сталагмитами

В результате же обратного процесса:



в пещерах растут сталактиты (с потолка вниз) и сталагмиты (со дна вверх), имеющие форму огромных застывших сосулек (рис. 68).

ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ ВОДЫ. Вода имеет способность к **аномальному тепловому расширению**. Все жидкости, как и твёрдые тела, расширяются при нагревании. Их объёмное расширение можно наблюдать на следующем опыте.

Лабораторный опыт

Наполните колбу водой и закройте пробкой со вставленной в неё трубкой. Нагрейте воду в колбе. Объясните, почему вода начнёт подниматься по трубке.

Тепловое расширение жидкости объясняется увеличением расстояния свободного пробега молекул.

Все жидкости достаточно равномерно расширяются с повышением температуры. Исключение составляет вода. Вода расширяется только при нагревании свыше $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$. При нагревании от 0 до $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ она сжимается. При этом её объём уменьшается, а плотность увеличивается. Наибольшую плотность вода имеет при $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Под действием солнечных лучей верхние слои воды нагреваются, предположим, до температуры $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Плотность воды в этом слое больше, чем в слое, лежащем ниже и имеющем температуру $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Нагретая вода опускается вниз. Её место занимает вода, имеющая более низкую температуру. Таким образом, происходит непрерывная смена слоёв воды и равномерное прогревание всей её толщи.

При дальнейшем нагревании верхние слои становятся менее плотными и остаются сверху. Поэтому большие толщи воды прогреваются быстро лишь до $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (наибольшая плотность), дальнейшее прогревание нижних слоёв идёт медленно. Аналогично, охлаждение воды до $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ происходит быстро, а дальнейшее охлаждение замедляется. Это приводит к тому, что водоёмы, начиная с некоторой глубины, имеют температуру $+2\text{—}3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Даже зимой вода в водоёмах не промерзает до дна. Верхние, более холодные, слои воды опускаются вниз, а тёплые занимают их место. Такое перемещение происходит до тех пор, пока температура воды не станет $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$. При дальнейшем охлаждении верхние слои не будут опускаться вниз и постепенно замёрзнут.

Эта особенность теплового расширения воды имеет очень большое значение для формирования климата Земли, так как большая часть поверхности нашей планеты покрыта водой.



Следующий, заключительный параграф этой главы будет посвящён воздушной оболочке Земли — атмосфере.

Вы знаете

- ▶ состав гидросферы
- ▶ что представляет собой Мировой океан
- ▶ состав морской воды
- ▶ что представляют собой морские волны
- ▶ роль морских течений в формировании климата
- ▶ роль карстовых явлений в формировании рельефа

Вы можете

- ▶ дать определения основных объектов, входящих в понятия «Мировой океан» и «воды суши»
- ▶ объяснить, что такое океаническое и материковое полушария, показать их на карте или глобусе
- ▶ охарактеризовать химический состав и цвет воды океанов и морей, привести примеры морей с водой разной степени солёности
- ▶ на примере Гольфстрима показать, как океан влияет на формирование климата стран, вдоль берегов которых это течение проходит
- ▶ назвать источники, в виде которых подземные воды выходят на поверхность
- ▶ объяснить, в чём заключается аномальное тепловое расширение воды

Выполните задания

1. Опишите круговорот воды в природе и его значение для живой и неживой природы.
2. Приведите примеры нетипичных морей на Земле. В чём их особенность?
3. Дайте характеристику солевого состава океанической воды.
4. Сформулируйте, что такое волна, штиль, зыбь, прибой, приливы и отливы. Какие из перечисленных явлений описываются в стихотворении М. Ю. Лермонтова «Парус»?
5. Приведите примеры холодных и тёплых течений, покажите их роль в жизни прибрежных стран.
6. Объясните, что такое карст и в чём заключается аномальное тепловое расширение воды.

Темы для рефератов

1. Южный океан — пятый океан Земли.
2. Саргассово море — загадка природы.
3. Моря-озёра на Земле (Мёртвое, Каспийское, Аральское).
4. Карстовые пещеры в России.
5. Морская тема в литературе и искусстве.

§ 17. Атмосфера

1. Что вы знаете об атмосферном давлении?
2. Из курса биологии и из собственных наблюдений приведите примеры, как животные могут предсказывать погоду.
3. Вспомните, какими приборами измеряют атмосферное давление.

СТРОЕНИЕ АТМОСФЕРЫ. Существование жизни на Земле возможно благодаря редчайшему сочетанию самых различных факторов, делающих нашу планету пригодной для жизни. Один из важнейших — это наличие атмосферы (от *греч.* *atmós* — пар и *sphaira* — шар).

Атмосфера — это воздушная (газовая) оболочка Земли, удерживаемая силой земного притяжения и вращающаяся с ней как единое целое.

Атмосфера, подобно самой планете Земля, имеет сложное (слоистое) строение (рис. 69).

Тропосфера (от *греч.* *tropos* — поворот) — ближайшая к земной поверхности оболочка атмосферы (см. рис. 69). Именно поэтому протекающие в ней процессы находятся в тесной зависимости от наземных явлений. В приграничном слое происходит теплообмен, воздух нагревается от земной поверхности и с высотой остывает примерно на 6 °С на каждые 1000 м. На условной верхней границе тропосферы температура падает до –50—55 °С. За счёт разности температур происходит интенсивное «перемешивание» (конвекция) воздуха: тёплый воздух поднимается вверх, холодный опускается вниз. В тропосфере содержится практически вся влага атмосферы (около 99%). Именно в этой оболочке происходит образование облаков, выпадают осадки, наблюдаются все метеорологические явления (ветра, грозы, молнии и т. п.). Около 90% всей массы атмосферы приходится именно на тропосферу.

Стратосфера (от *лат.* *stratus* — слоистый) простирается после тропосферы до высоты 50—55 км. Здесь за счёт ультрафиолетового излучения солнца из кислорода образуется озоновый слой планеты:



Выше образование озона затруднено из-за низкого содержания кислорода, а в нижних слоях атмосферы невозможно из-за отсутствия ультрафиолетовой радиации. О значении озонового слоя для жизни нашей планеты вы узнаете немного позже.



Рис. 69. Строение атмосферы

Поглощение озоном ультрафиолетового излучения приводит к увеличению температуры, в верхних слоях стратосферы она поднимается до 0°C . В стратосфере тоже наблюдаются ветра — горизонтальные и (в меньшей степени) вертикальные движения разреженного воздуха. На высоте 20—22 км возможно образование капельно-жидких перламутровых облаков.

Мезосфера (от *греч.* *mesos* — средний) простирается до высоты около 80 км над поверхностью Земли. Здесь вновь температура падает до -80°C . Влага здесь ничтожно мало, тем не менее в мезосфере возможно образование тонких ледяных серебристых облаков.

Последняя оболочка атмосферы — **термосфера** (от *греч.* *therme* — тепло) постепенно переходит в космическое пространство. Высокие значения температуры в термосфере (от 200 до 1000 К) нельзя воспринимать буквально: если мы посмотрим на термометр на высоте 600 км, он не покажет высокой температуры. Термосфера очень разрежена, поэтому атомы химических элементов и ионы движутся с большими скоростями, обладают высокой кинетической энергией. Приведённые значения температуры и являются мерой кинетической энергии частиц. Пролетающие через термосферу спутники или метеороиды практически не испытывают сопротивления воздуха и не нагреваются. Метеороиды сгорают лишь в нижних слоях термосферы, на границе с мезосферой.

В верхних слоях термосферы газы находятся в виде отдельных атомов, которые легко превращаются в заряженные частицы — ионы — в результате того, что от них отрываются электроны под действием коротковолновой солнечной радиации. Поэтому эту часть термосферы называют **ионосферой**. Для ионосферы характерна высокая наэлектризованность и способность отражать, как от зеркала, длинные и средние радиоволны. В ионосфере возникают полярные (северные) сияния, а также мощные электрические токи, которые вызывают нарушение магнитного поля Земли.

В ионосфере возникают полярные (северные) сияния, а также мощные электрические токи, которые вызывают нарушение магнитного поля Земли.

Полярное (северное) сияние — оптическое явление в ионосфере, свечение ионов под действием заряженных частиц, летящих от Солнца.

Иногда выделяют и самый последний, внешний слой атмосферы — **экзосферу** (от *греч.* *εξω* — снаружи) — от 800 до 2000 км. Лёгкие атомы водорода и гелия, находящиеся в этой крайне разреженной оболочке, движутся с огромными скоростями, достигают второй космической скорости и улетают в космическое пространство.

СОСТАВ ВОЗДУХА. Во второй половине XVIII в. Лавуазье установил, что воздух — смесь газообразных веществ: азота N_2 (на его долю приходится $\frac{4}{5}$ объёма воздуха) и кислорода O_2 (с объёмной долей $\frac{1}{5}$). В дальнейшем представления о составе воздуха были уточнены. В настоящее время различают постоянные, переменные и случайные составные части воздуха.

Постоянные составные части воздуха (табл. 6) — это азот, кислород и благородные газы (в первую очередь аргон). Содержание их в тропосфере постоянно.

Переменные составные части воздуха — это углекислый газ (около 0,003% по объёму), водяные пары и озон (около 0,00004% по объёму). Содержание их может сильно изменяться в зависимости от природных и антропогенных условий.

К *случайным составным частям воздуха* относят пыль, микроорганизмы, пыльцу растений, сажу, пепел, кристаллики льда и морской

ТАБЛИЦА 6
ПОСТОЯННЫЕ СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ ВОЗДУХА

Газ	Содержание газа, %	
	по объёму	по массе
Азот (N_2)	78,08	75,51
Кислород (O_2)	20,95	23,15
Аргон (Ar)	0,93	1,28
Гелий (He)	0,00182	0,00125
Неон (Ne)	0,00053	0,00007
Криптон (Kr)	0,00012	0,00029

соли, некоторые газы, в том числе и те, которые образуют кислотные дожди (оксиды серы и азота), и т. д.

ОЗОНОВЫЕ ДЫРЫ И ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ. На высоте 20—25 км расположен **озоновый слой**. Его более точно и значимо называют озоновым щитом планеты.

Если привести объём всего озона атмосферы к нормальным условиям (температура 0 °С, давление 760 мм рт. ст.), то на высоте 20 км он распределится вокруг планеты слоем всего в 3 мм. Очень важно сохранить эту тоненькую «плёнку жизни», ведь именно она защищает нашу планету от губительного ультрафиолетового излучения Солнца.

В настоящее время возникла угроза разрушения этого щита, и в первую очередь под действием содержащих хлор соединений — фреонов. Эти соединения используются в холодильных установках и аэрозольных упаковках (в баллончиках с дезодорантами и т. д.). Источником озонового слоя называется **озоновой дырой**. Как она образуется? В верхних слоях атмосферы молекулы фреонов попадают под воздействие космических лучей, в результате чего из них освобождается хлор. Он соединяется с озоном, а затем это соединение вновь разрушается, однако в данном случае образуется не озон O_3 и хлор Cl , а кислород O_2 и хлор Cl . Освободившийся хлор тут же соединяется с новой молекулой озона, затем превращает его в кислород и т. д. Подсчитано, что 1 атом хлора может разрушить 100 000 молекул озона. Этот процесс интенсивнее всего происходит над Антарктидой, откуда обеднённый озоном воздух распространяется по всей планете, а на его место поступает нормальный воздух. Так Антарктида превращается в своеобразный химический завод, на котором год за годом уничтожается озоновый щит планеты. Сейчас большинство промышленных стран прекратили выпуск фреонов, заменив их другими веществами. Но учёные подсчитали, что имеющийся в атмосфере запас фреонов будет ещё в течение 100 лет разрушать озоновый слой Земли.

В 80-х гг. XX в. мировое сообщество начало принимать меры по сокращению производства фреонов. В сентябре 1987 г. ведущими странами мира была подписана конвенция, согласно которой страны к 1999 г. должны были снизить потребление фреонов в 2 раза. Уже найден и широко используется заменитель фреонов в аэрозолях — пропан-бутановая смесь. Она почти не уступает фреонам по необходимым параметрам, единственным минусом является то, что она огнеопасна. Лучшим заменителем фреонов для промышленных холодильных установок сейчас является аммиак, однако он очень токсичен и значительно хуже фреонов по физическим параметрам.

Благодаря совместным усилиям мирового сообщества, за последние десятилетия производство фреонов сократилось, но их использование

всё ещё продолжается, и, по оценкам учёных, до стабилизации озонового слоя должно пройти ещё как минимум 50 лет.

Другая не менее важная проблема, связанная с составом атмосферы, называется **парниковым эффектом** или атмосферным тепличным эффектом. Этот эффект вызван содержанием в атмосфере углекислого газа, водяного пара, метана и других примесей, которые обладают способностью пропускать сквозь себя солнечный свет, но задерживать тепловое излучение, исходящее от земной поверхности. В результате на нашей планете наблюдается постепенное потепление климата. Так, по сравнению с началом XX в. средняя температура Земли повысилась на $0,74\text{ }^{\circ}\text{C}$, в наши дни потепление составляет $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, а к 2020 г. может достигнуть $2,2\text{--}2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. К каким последствиям это приведёт? В первую очередь — к повышению уровня Мирового океана и, следовательно, затоплению прибрежных районов морей и океанов, а также изменению природных и климатических зон на земном шаре.

Представление о парниковом эффекте даёт следующий пример. Если в жаркий полдень сесть в автомобиль, простоявший хотя бы 10—15 минут на солнце с закрытыми дверями, то на собственном опыте можно ощутить, как разнится температура снаружи и внутри салона. Всё дело в том, что стёкла автомобиля имеют различную проницаемость для лучей видимого света и инфракрасных лучей, поэтому в нём значительно повышается температура.

АТМОСФЕРНОЕ ДАВЛЕНИЕ. Вам известно, что атмосфера оказывает на поверхность Земли давление, которое так и называют — **атмосферное давление**.

Рассчитать его так, как рассчитывают давление жидкости на дно сосуда, невозможно, поскольку плотность атмосферы заметно изменяется с высотой. Поэтому атмосферное давление было определено экспериментально. В 1647 г. его впервые измерил итальянский физик и математик Э. Торричелли (1608—1647) (рис. 70). Атмосферное давление оказалось равным 760 мм ртутного столба — это **нормальное атмосферное давление**. С тех пор единицей давления считается 1 мм ртутного столба (1 мм рт. ст.). Это внесистемная единица, в СИ единицей давления, в том числе и атмосферного, является 1 паскаль ($1\text{ Па} = 1\text{ Н/м}^2$). Соотношение между этими единицами таково: $1\text{ мм рт. ст.} = 133,3\text{ Па}$; $1\text{ Па} = 0,0075\text{ мм рт. ст.}$ В паскалях нормальное атмосферное давление равно $101\,325\text{ Па}$, или примерно 10^5 Па .

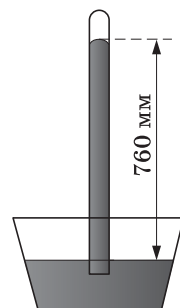
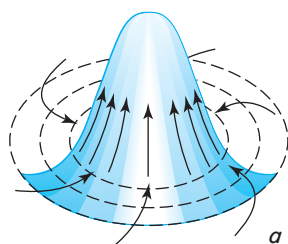


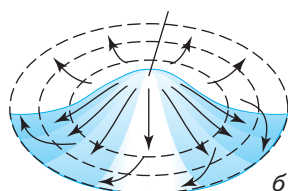
Рис. 70. Опыт Э. Торричелли по измерению атмосферного давления



Рис. 71. Барометр-анероид



Низкое давление



Высокое давление

Рис. 72. Схема образования: *а* — циклона; *б* — антициклона

Для измерения атмосферного давления используют прибор, называемый **барометром**. Достаточно точным, но неудобным в обращении является ртутный барометр, подобный трубке с ртутью, которую использовал Торричелли. Если к этой трубке прикрепить шкалу, проградуированную в миллиметрах, то по высоте столба ртути можно судить о значении атмосферного давления. Менее точным, но более удобным в использовании является барометр-анероид (рис. 71).

ВЕТЕР. Изменение давления вызывает перемещение воздуха. Воздух движется непрерывно: он поднимается или опускается (восходящее или нисходящее движение), а также перемещается в горизонтальном направлении, образуя **ветер**.

В замкнутой области пониженного давления воздух устремляется к центру, отклоняясь вправо в Северном полушарии и влево — в Южном. Возникают восходящие вихри — **циклоны** (рис. 72, *а*). Они — основной источник влаги, которую атмосфера возвращает на Землю в виде дождя и снега. Тёплые и холодные воздушные массы движутся по спирали к центру циклона, образуя **атмосферные фронты** — границы раздела между ними.

В замкнутой области повышенного давления формируются нисходящие вихри — **антициклоны** (рис. 72, *б*). В них условий для образования атмосферных фронтов нет, так как воздух опускается и растекается в стороны.

Ветер характеризуется скоростью, силой и направлением. Скорость ветра измеряется в метрах в секунду (м/с) или баллах *шкалы Бофорта* (1 балл — около 2 м/с). Направление ветра определяется той стороной горизонта, с которой дует ветер (южный, юго-восточный, северный и т. д.).

Самые сильные и опасные циклоны — это **тайфуны** (рис. 73, *а*). Ветер достигает скорости 90—110 м/с и обладает огромной энергией — в полмиллиона раз боль-



Ветер, ветер! Ты могуч,
Ты гоняешь стаи туч,
Ты волнуешь сине море,
Всюду веешь на просторе...

А. Пушкин

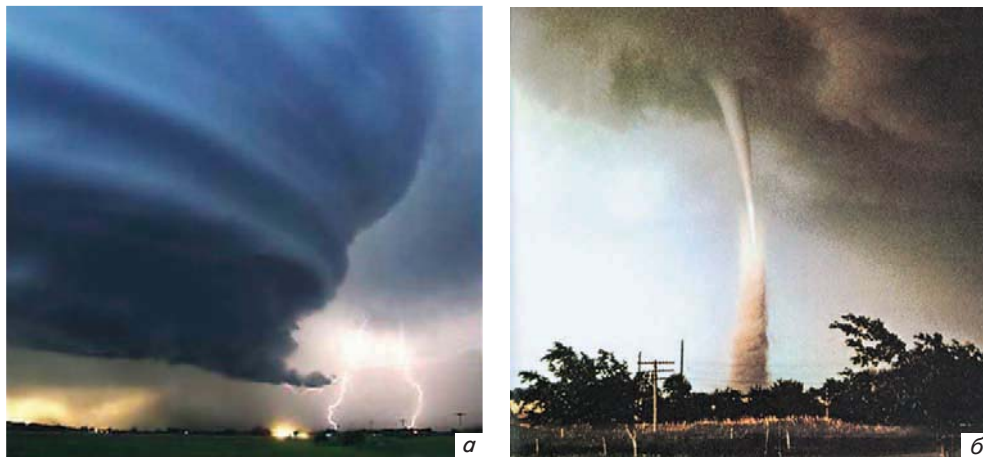


Рис. 73. Тайфун (а) и смерч (б)

ше той, которая выделилась при взрыве атомной бомбы, сброшенной на Хиросиму.

Летом можно наблюдать небольшие по размеру (50—450 м в диаметре) сильные вихри, которые спускаются из грозового облака до самой поверхности Земли в виде столба или рукава, — это **смерч** (рис. 73, б). В верхней части он воронкообразно расширяется и сливается с облаком. Когда смерч достигает поверхности земли, то его нижняя часть тоже становится похожей на воронку. Высота смерча бывает до 1,5 км, а скорость — до 300 м/с. Возникают смерчи при необычно резком падении температуры воздуха в зависимости от высоты, воздух в этом случае быстро поднимается вверх и закручивается по спирали. Большая разница давления снаружи и внутри смерча действует как засасывающая сила, которая поглощает всё на своём пути: дома и железнодорожные вагоны, животных и людей, воду из водоёмов и т. д. Известны случаи, когда далеко от места возникновения смерча выпадали из облаков рыбы, лягушки и даже серебряные монеты, захваченные смерчем из старинного клада. Ежегодно от смерчей, например в Северной Америке (там они бывают наиболее часто и называются **торнадо**), погибает до 400 человек.

ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА. Наряду с атмосферным давлением, важным показателем состояния атмосферы является влажность. Она характеризуется содержанием водяного пара в воздухе.

Абсолютная влажность (ρ) — это плотность водяного пара, содержащегося в воздухе, или масса водяного пара в 1 м³ воздуха.

Единица абсолютной влажности — кг/м^3 . Отношение абсолютной влажности (ρ) к плотности насыщенного водяного пара (ρ_0) при данной температуре называется **относительной влажностью** (φ):
$$\varphi = \rho / \rho_0 \cdot 100\%.$$

» **Напомним**, что *насыщенный пар* находится в динамическом равновесии со своей жидкостью.

Чем больше относительная влажность воздуха, тем ближе содержащийся в нём пар к состоянию насыщения. Так, после дождя относительная влажность воздуха бывает очень высокой и порой равна 100%. В этом случае пар, содержащийся в воздухе, является насыщенным.

С влажностью воздуха связано такое природное явление, как выпадение росы (рис. 74).



Рис. 74. Роса

Предположим, что абсолютная влажность воздуха при температуре $+18^\circ\text{C}$ равна $9,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$. Понижение температуры воздуха приведёт к тому, что при некоторой температуре пар станет насыщенным. Согласно табличным данным, значение этой температуры равно $+10^\circ\text{C}$. При дальнейшем понижении температуры водяной пар начнёт конденсироваться и выпадет роса.

Точка росы — это температура, при которой водяной пар, содержащийся в воздухе, становится насыщенным.

Понятно, что для приведённого выше примера точкой росы является температура $+10^\circ\text{C}$.

Звёзды меркнут и гаснут. В огне облака.
Белый пар по лугам расстилается.
По зеркальной воде, по кустам лозняка
От зари алый свет разливается.
Дремлет чуткий камыш. Тишь — безлюдье вокруг.
Чуть приметна тропинка росистая.
Куст заденешь плечом — на лицо тебе вдруг
С листьев брызнет роса серебристая.

И. Никитин

Влажность измеряют с помощью **гигрометров** и **психрометров** (рис. 75).

Влажность воздуха играет большую роль в жизни человека, животных и растений. Для хорошего самочувствия человека относительная влажность воздуха должна быть 40—60%. Если влажность меньше, то это ведёт к усиленному испарению воды из организма и высыханию слизистых оболочек носа, горла, лёгких, что повышает вероятность простудных заболеваний. В этих случаях необходимо увлажнять воздух в жилых и служебных помещениях.

От влажности зависит климат в том или ином регионе. Большое значение имеет информация о влажности воздуха для предсказания погоды. Контроль влажности воздуха важен для сохранности произведений искусства. В залах музеев обычно висят термометры и психрометры, которые позволяют следить за температурой и влажностью воздуха.

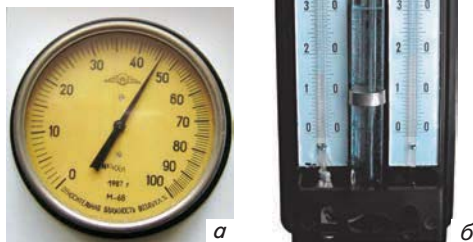


Рис. 75. Гигрометр (а) и психрометр (б)

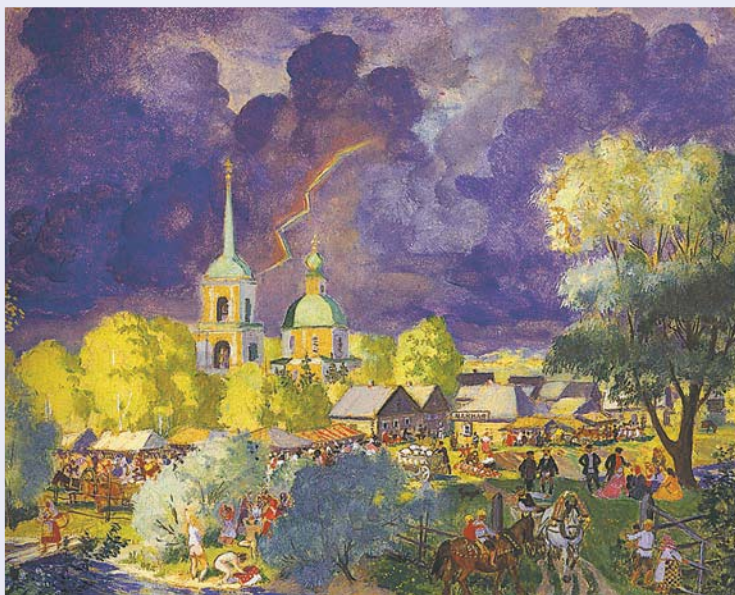


Рис. 76. Б. Кустодиев. Гроза.
1919 г.

ОБЛАКА И ОСАДКИ. При конденсации водяного пара в атмосфере возникают маленькие капельки воды, которые при понижении температуры превращаются в кристаллики льда. Однако только охлаждения воздуха для этого недостаточно, нужно, чтобы он содержал какие-нибудь твёрдые частицы — центры конденсации (пылинки, кристаллики соли и т. п.). Так возникают облака, которые могут пролиться дождём или обрушиться градом. В каплях и ледяных кристалликах облаков возникают положительные и отрицательные заряды. В результате между разнозаряженными участками одного или разных облаков или облаком и землёй проскакивает гигантская искра — молния (рис. 76), которая часто сопровождается звуковым эффектом — громом.

Люблю грозу в начале мая,
Когда весенний, первый гром,
Как бы резвяся и играя,
Грохочет в небе голубом.

Ф. Тютчев

Иногда солнечные лучи подсвечивают облако или дождь, в результате чего возникает яркое и эффектное оптическое явление в атмосфере — радуга (рис. 77). Это явление объясняется преломлением и последующей дисперсией (т. е. разложением на составные части) солнечных лучей в каплях дождя или облаках. Когда говорят: все цвета радуги, — то имеют в виду следующую последовательность цветовых полос: красная (внутренняя), оранжевая, жёлтая, зелёная, голубая, синяя, фиолетовая.

При понижении температуры водяной пар, находящийся в приземном слое атмосферы, конденсируется, превращаясь в жидкость, т. е.

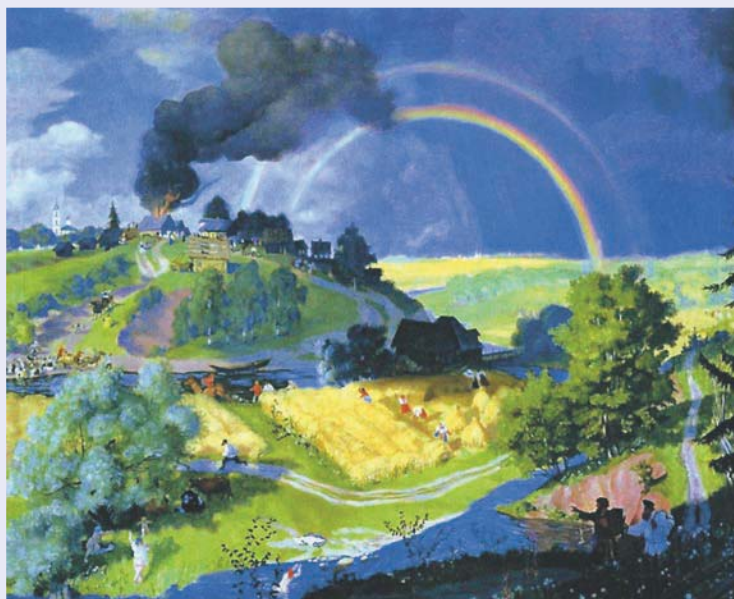


Рис. 77.
Б. Кустодиев.
После грозы.
1921 г.

образуется **туман**. Таким образом, туман — это облако, лежащее на поверхности земли или воды. Особенно известна своими туманами столица Великобритании — Лондон.

Если над промышленным городом движение воздуха незначительное, то там часто образуется **смог** (*англ.* smog, от smoke — дым и fog — туман) — скопление ядовитых паров, пылевых частиц, копоти в густом тумане. Под действием смога разрушаются здания и архитектурные сооружения, он очень вреден для здоровья людей, так как вызывает или обостряет различные заболевания.

Таким образом, значение атмосферы трудно переоценить. Она является своеобразной «подушкой безопасности» между Землёй и космосом. Внешние её слои защищают Землю от электромагнитных воздействий, потока заряженных частиц и космической пыли. Слой атмосферы, соприкасающийся с литосферой и гидросферой, участвует в непрерывном обмене энергией, а также влагой и другими химическими веществами.

Вы знаете

- ▶ строение атмосферы
- ▶ состав воздуха
- ▶ что представляют собой озоновые дыры и парниковый эффект
- ▶ как возникает ветер
- ▶ что такое атмосферное давление и влажность воздуха
- ▶ как образуются облака и осадки

Вы можете

- ▶ объяснить, чем отличается тропосфера от стратосферы, мезосферы, термосферы
- ▶ рассказать, как образуется озоновая дыра, какие химические процессы при этом происходят
- ▶ охарактеризовать основные показатели погоды — температуру воздуха, атмосферное давление, направление и скорость ветра, влажность воздуха, облачность и осадки
- ▶ объяснить влияние на погоду циклонов и антициклонов

Выполните задания

1. Расскажите, что представляет собой атмосфера, какие слои в ней выделяют.
2. Перечислите постоянные составные части воздуха.

3. Дайте характеристику таких явлений, как парниковый эффект, озоновая дыра, циклон, ветер, тайфун, смерч. Чем они опасны, какими бедами грозят людям?
4. Объясните, как образуются облака, туман, смог.
5. Назовите приборы, с помощью которых измеряют атмосферное давление, влажность воздуха.
6. Сравните такие оптические явления в атмосфере, как северное сияние и радуга, объясните физическую сущность этих явлений.

Темы для рефератов

1. Атмосфера Земли — наша защита от космоса. 2. Смог в Лондоне 1952 г. и в Москве в 2010 г.: сравнительная характеристика. 3. Смерчи, их классификация, причины и места образования. 4. Самые страшные ураганы и тайфуны последнего десятилетия.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

4 Изучение звёздного неба с помощью подвижной карты

Цель работы: научиться находить на подвижной карте звёздного неба созвездия и звёзды и определять их координаты.

Оборудование: карта звёздного неба, накладной круг.

Ход работы

Установите подвижную карту звёздного неба на день и час наблюдения и найдите созвездия, расположенные в южной части неба от горизонта до полюса мира и на востоке — от горизонта до полюса мира.

Найдите созвездия, расположенные между точками запада и севера 10 октября в 21 час. Проверьте правильность определения визуальным наблюдением звёздного неба.

Найдите на звёздной карте созвездия с обозначенными в них туманностями и проверьте, можно ли их увидеть невооружённым глазом.

Определите, будут ли видны созвездия Девы, Рака, Весов в полночь 5 мая.

Выясните, какие из созвездий: Малая Медведица, Волопас, Возничий, Орион — для данной широты будут незаходящими.

На карте звёздного неба найдите любые 2—3 из созвездий: Большая Медведица, Кассиопея, Андромеда, Пегас, Лебедь, Лира, Геркулес, Северная Корона — и определите небесные координаты (склонение и прямое восхождение) звёзд этих созвездий.

Подготовьте отчёт о проделанной работе.

5 Изучение коллекции горных пород

Цель работы: научиться описывать внешний вид горных пород, классифицировать их по происхождению и минеральному составу.

Оборудование и материалы: коллекция горных пород — по три образца магматических (базальт, гранит), осадочных (песок, галька, песчаник), метаморфических (мрамор, гнейс, кварцит) пород; увеличительное стекло; перочинный нож; медная монетка; напильник.

Ход работы

Рассмотрите образцы под увеличительным стеклом, определите, к каким группам по происхождению (магматическим, осадочным, метаморфическим) и по минеральному составу (моно- или полиминеральным) они относятся. Запишите названия горных пород по группам в тетрадь.

Выберите по одной породе из каждой группы по происхождению и опишите её по следующему плану:

- 1) какого цвета порода, обладает ли она блеском;
- 2) является порода моно- или полиминеральной;
- 3) если порода полиминеральная, то какими минералами она образована;
- 4) какова текстура породы (слоистая, упорядоченная, хаотическая);
- 5) какова примерная твёрдость породы по шкале Мооса (для определения этого параметра воспользуйтесь методом царапания породы).

Шкала Мооса — это минералогическая шкала твёрдости, набор эталонных минералов для определения относительной твёрдости методом царапания.

В качестве эталонов в шкале Мооса приняты 10 минералов, расположенных в порядке возрастающей твёрдости:

- 1) тальк (царапается ногтем);
- 2) гипс (царапается ногтем);
- 3) кальцит (царапается медной монетой);
- 4) флюорит (царапается ножом, кусочком стекла);
- 5) апатит (царапается ножом, кусочком стекла);
- 6) полевой шпат (царапается напильником);
- 7) кварц;
- 8) топаз;
- 9) корунд;
- 10) алмаз (самый твёрдый минерал).

Для определения твёрдости горной породы можно воспользоваться: человеческим ногтем — твёрдость по шкале Мооса 2,5; медной монетой — твёрдость по шкале Мооса 3,5; кусочком обычного стекла или лезвием перочинного ножа — твёрдость по шкале Мооса 5,5; напильником — твёрдость по шкале Мооса 6,5.

6 Получение жёсткой воды и устранение её жёсткости

Цель работы: получить жёсткую воду, содержащую соли кальция, изучить возможности её применения в технических и пищевых целях, а также способы устранения жёсткости воды.

Оборудование и реактивы: прибор для получения газов, пробирки, пробки, спиртовка, спички, пробиркодержатель, известковая вода, мрамор, соляная кислота, раствор соды, раствор мыла.

Ход работы

Поместите в прибор для получения газов кусочки мрамора и добавьте соляную кислоту.

Налейте в пробирку известковую воду и начинайте пропускать через неё углекислый газ из прибора для получения газов. Что наблюдаете?

Продолжайте пропускать углекислый газ до получения прозрачного раствора. Полученную жёсткую воду разлейте в три пробирки. К содержимому одной пробирки добавьте немного раствора мыла, закройте её пробкой и сильно встряхните. Что происходит? Почему?

Вторую пробирку зажмите в пробиркодержателе и нагрейте на пламени спиртовки до кипения жидкости. Что вы видите? Объясните наблюдаемое явление.

К содержимому третьей пробирки добавьте раствор соды. Что наблюдаете?

Сделайте выводы о свойствах жёсткой воды и возможности её применения в технических и пищевых целях, а также о способах устранения жёсткости. Подкрепите выводы уравнениями химических реакций.

7 Изучение параметров состояния воздуха в кабинете

Цель работы: измерить атмосферное давление с помощью барометра-анероида, температуру — с помощью термометра, влажность воздуха — с помощью психрометра.

Оборудование: термометр, барометр-анероид, психрометр.

Ход работы

1. Измерьте температуру воздуха в кабинете с помощью термометра, для этого:

определите цену деления термометра;

запишите абсолютную погрешность измерения температуры, считая её равной половине цены деления, а также значение температуры воздуха с учётом абсолютной погрешности измерения.

2. Вспомните, что называют атмосферным давлением, в каких единицах оно измеряется, каков принцип работы барометра-анероида. Измерьте атмосферное давление с его помощью, для этого:

определите цену деления барометра;

запишите абсолютную погрешность измерения давления, считая её равной половине цены деления, а также значение атмосферного давления с учётом абсолютной погрешности измерения.

3. Вспомните, что называют абсолютной и относительной влажностью воздуха, в каких единицах они измеряются, каков принцип работы психрометра. Измерьте влажность воздуха в кабинете, для этого:

определите показания сухого и влажного термометра, вычислите разность их показаний;

по психрометрической таблице (табл. 7) определите относительную влажность воздуха.

4. Вычислите абсолютную влажность воздуха, для этого:

воспользуйтесь формулой $\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} \cdot 100\%$, где φ — относительная

влажность воздуха, ρ — абсолютная влажность воздуха (плотность водяного пара, содержащегося в воздухе при данной температуре); ρ_0 — плотность насыщенного водяного пара в воздухе при данной температуре;

по таблице определите плотность насыщенного водяного пара в воздухе при температуре, которую показывает сухой термометр психрометра;

сделайте вычисления.

5. Запишите полученные результаты в таблицу 8, сделайте вывод о соответствии значений параметров состояния воздуха их нормальным значениям. Как вы знаете, нормальным считается атмосферное давление, равное 760 мм рт. ст., а нормальной влажностью — 40—60%.

Таблица 7
ПСИХРОМЕТРИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА

Показания сухого термометра, °C	Разность показаний сухого и влажного термометров, °C										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Относительная влажность, %										
0	100	81	63	45	28	11	—	—	—	—	—
2	100	84	68	51	35	20	—	—	—	—	—

Показания сухого тер- мометра, °С	Разность показаний сухого и влажного термометров, °С										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Относительная влажность, %										
4	100	85	70	56	42	28	14	—	—	—	—
6	100	86	73	60	47	35	23	10	—	—	—
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7	—	—
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	5	—
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	—
14	100	89	79	70	60	51	42	34	25	17	9
16	100	90	81	71	62	54	46	37	30	22	15
18	100	91	82	73	65	56	49	41	34	27	20
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
26	100	92	85	78	71	64	58	51	46	40	34
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39

ТАБЛИЦА 8

ЗНАЧЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ВОЗДУХА В КАБИНЕТЕ

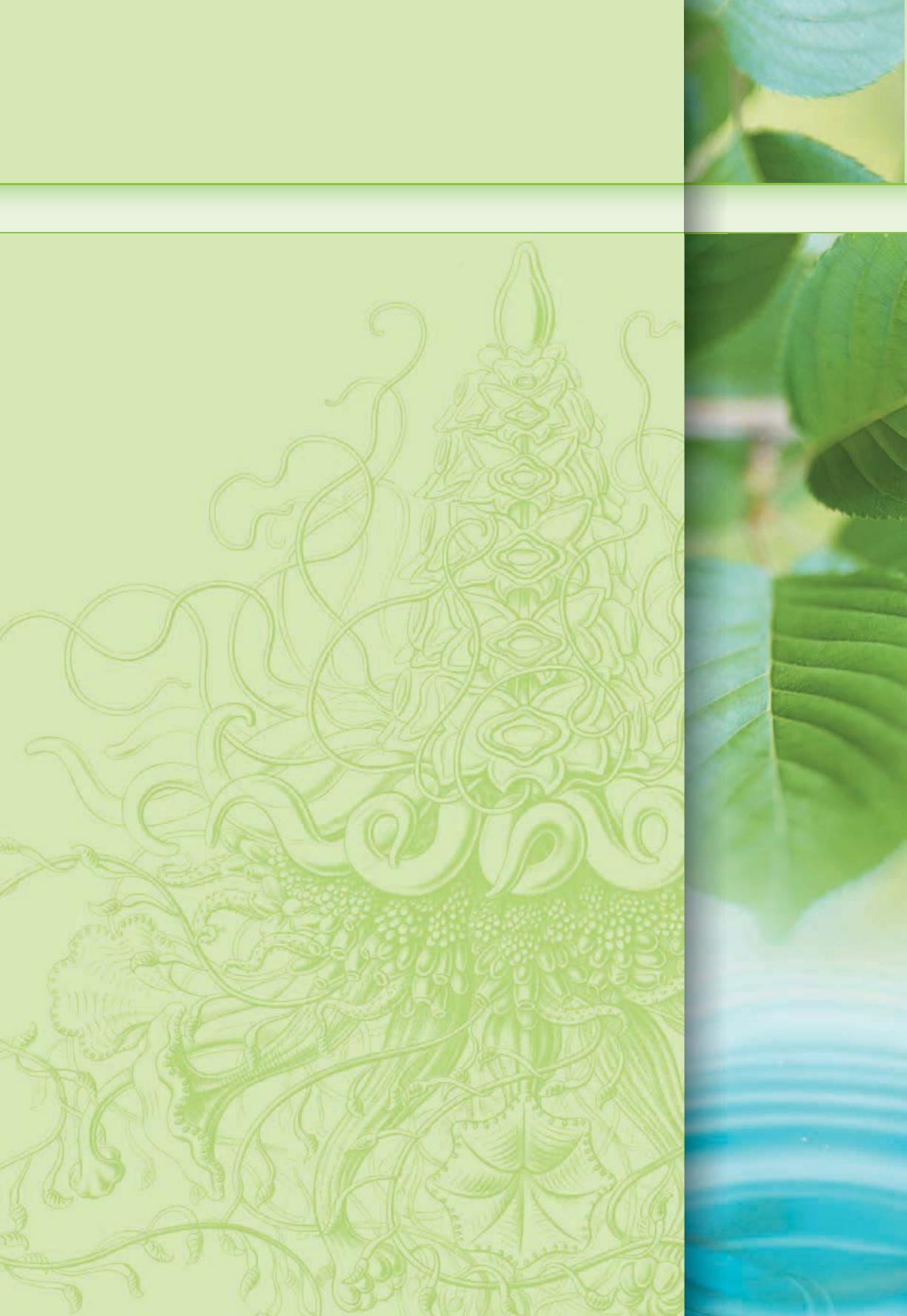
Температура воздуха		Атмосферное давление		Влажность воздуха					
абсолютная погрешность Δt , °С	температура с учётом абсолютной погрешности $t + \Delta t$, °С	абсолютная погрешность Δp , мм рт. ст.	давление с учётом абсолютной погрешности $p + \Delta p$, мм рт. ст.	температура сухого термометра t_1 , °С	температура влажного термометра t_2 , °С	разность температуры сухого и влажного термометров $t_1 - t_2$, °С	относительная φ , %	абсолютная ρ , г/м ³	плотность насыщенного пара ρ_0 , г/см ³

глава



Макромир





§ 18. Жизнь, свойства живого и их относительность

1. Перечислите явления живой и неживой природы, которые вам известны.
2. Дайте определения понятий «количество теплоты», «внутренняя энергия», «температура».
3. Вспомните, что вам известно о происхождении жизни на Земле.
4. Назовите произведения художественной литературы и кинофильмы, посвящённые посещению представителями внеземных цивилизаций нашей планеты.

ЧЕМ ЖИВОЕ ОТЛИЧАЕТСЯ ОТ НЕЖИВОГО. Проблема различия между живым и неживым очень стара, она существует столько же, сколько и человеческий разум. Какое же свойство является определяющим в разделении живой и неживой природы? Сравним два папоротника: живой лесной, например орляк, и нарисованный художником-морозом на оконном стекле (рис. 78). Если на нарисованный морозом папоротник упадёт солнечный луч, он растает. А вот лесной, благодаря энергии солнечного света, будет расти, развиваться и размножаться с помощью спор.

С точки зрения химии живой и неживой мир построен из одних и тех же элементов. Может быть, свойством живого является его способность к движению? Но ведь вода в реке, воздушные массы или пески пустынных барханов движутся тоже. Будем отличать живое от неживого по способности к росту. Но сосульки сталактитов и сталагми-



Рис. 78. Два папоротника: а — морозный узор на стекле; б — лесной (орляк)

тов тоже растут навстречу друг другу, образуя в пещерах причудливые колонны; растут и кристаллы в пересыщенном растворе... Живое воспроизводит себя, т. е. размножается. Однако и компьютерные вирусы самовоспроизводятся, становясь причиной многочисленных сбоев в работе. Очевидно, необходимо рассматривать не отдельные свойства, присущие живому, а их совокупность. Это способность к движению, росту, питанию и выделению продуктов жизнедеятельности, дыханию, размножению, а также раздражимость, приспособленность к окружающей среде, наследственность и изменчивость.

Прежде всего живое от неживого отличает способ восприятия энергии. Внутреннюю энергию живых и неживых систем можно изменить путём теплопередачи или совершения работы.

Количество теплоты, сообщённое системе, расходуется на совершение системой работы против внешних сил и на увеличение её внутренней энергии:

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

где Q — количество теплоты, полученное системой; ΔU — изменение внутренней энергии системы; A — работа, совершённая системой.

Приведённая формулировка называется **первым законом (началом) термодинамики** и является выражением закона сохранения энергии для тепловых процессов.

Работа и количество теплоты являются мерами изменения внутренней энергии системы при разных процессах: $\Delta U = Q - A$.

Из курса физики основной школы вам известно, что внутренняя энергия системы может быть изменена на одно и то же значение или при передаче ей некоторого количества теплоты, или при совершении работы без теплообмена. Это положение выражает *принцип эквивалентности теплоты и работы*.

Из первого закона термодинамики следует вывод о том, что невозможно создать вечный двигатель. Действительно, если к системе не подводят энергию, то работа будет совершаться только за счёт внутренней энергии системы, которая со временем уменьшится и в конце концов станет равной нулю. Это означает, что рано или поздно двигатель прекратит работу.

Все изменения в неживой природе, например испарение воды, конденсация пара и объединение капель в облака, выпадение дождя, образование ручьёв и рек и т. д., связаны с превращением энергии. Согласно важнейшему фундаментальному закону природы — первому началу термодинамики, — *энергия не возникает из ничего и не исчезает бесследно, а только превращается из одной формы в другую*. Так, под действием солнечной энергии вода испаряется, а механиче-

ская энергия падающей воды на гидроэлектростанциях превращается в электрическую.

Причиной всех изменений воды в природе является действие ещё одного фундаментального закона природы, известного под названием *второго закона термодинамики*. Познакомимся с ним подробнее.

Вам известно, что при контакте двух тел с разной температурой тело, имеющее более высокую температуру, отдаёт некоторое количество теплоты и остывает, а тело, имеющее более низкую температуру, получает некоторое количество теплоты и нагревается.

В соответствии с первым законом термодинамики возможен и такой процесс, при котором менее нагретое тело отдаёт некоторое количество теплоты и ещё сильнее остывает, а более нагретое тело получает некоторое количество теплоты и ещё сильнее нагревается. При этом полная энергия системы сохраняется, если она замкнутая и теплоизолированная. Таким образом, первый закон термодинамики ничего не говорит о направлении процесса теплообмена, т. е. о том, какое тело отдаёт энергию, а какое получает, и не запрещает самопроизвольную передачу энергии от холодного тела к горячему. Этот запрет накладывает второй закон термодинамики, который содержит утверждение о направленности процессов теплообмена. Прежде чем обсуждать второй закон термодинамики, рассмотрим понятие **необратимости**.

Итак, при теплообмене энергия переходит от более нагретого тела к менее нагретому. Обратный процесс самопроизвольно происходить не может, т. е. теплопередача — необратимый процесс.

Если в раствор медного купороса налить воды, то через некоторое время вещества перемешаются и образуется однородный раствор. Диффузия произошла самопроизвольно. Обратный процесс, т. е. разделение раствора на вещества, самопроизвольно произойти не может. Диффузия — пример необратимого процесса.

Примером такого процесса является и движение шарика, упавшего на твёрдый пол и отскочившего от него. При этом шарик не поднимется на ту высоту, с которой упал, поскольку часть механической энергии превратится во внутреннюю энергию воздуха, шарика и пола. Если бы отсутствовало сопротивление воздуха и удар шарика о пол был абсолютно упругим, то шарик после удара поднялся бы на прежнюю высоту и его движение было бы обратимым.

В живой природе необратимым является процесс старения.

Необратимый процесс — процесс, обратный которому самопроизвольно не происходит.

Понятие необратимости процессов составляет содержание **второго закона (начала) термодинамики**, который указывает направление энергетических превращений в природе. Он имеет несколько эквивалентных формулировок. Немецкий учёный *Р. Клаузиус* (1822—1888) предложил одну из них.

Невозможен процесс, единственным результатом которого был бы переход энергии от холодного тела к горячему.

Из приведённой формулировки следует, что передача энергии от холодного тела горячему сопровождается определёнными изменениями в окружающих телах. В холодильнике, например, энергия передаётся от холодильной камеры, температура в которой около $3\text{ }^{\circ}\text{C}$, среде, имеющей более высокую температуру. Но данный процесс осуществляется при совершении работы над рабочим веществом (хладагентом) при условии, что холодильник подключён к источнику электрической энергии.

Компрессор холодильника 1 (рис. 79) засасывает из испарителя 2 хладагент в виде пара, сжимает его и выталкивает в конденсатор 3. При сжатии температура хладагента повышается. Попадая в конденсатор, он остывает и конденсируется, отдавая некоторое количество энергии окружающей среде. Получившаяся при конденсации жидкость через капилляр 4 поступает в испаритель. За счёт резкого уменьшения давления происходит испарение жидкого хладагента. При испарении, как вы помните, температура жидкости уменьшается. Таким образом, в процессе испарения хладагент забирает энергию от внутренних стенок испарителя, тем самым охлаждая камеру холодильника.

В ходе рабочего цикла холодильника с хладагентом происходят следующие изменения: сначала он при высоком давлении конденсируется, а затем жидкий хладагент, поступая в область низкого давления, испаряется. При этом в окружающую среду выделяется некоторое количество теплоты, в чём вы можете убедиться, потрогав заднюю стенку холодильника.

Вернёмся к опыту с купоросом. Вода и раствор медного купороса в сосуде первоначально находились в упорядоченном состоянии: в нижней части сосуда размещался раствор медного купороса $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (состоящий из ионов Cu^{2+} , SO_4^{2-} и молекул воды), в верхней — молекулы воды. Со временем молекулы воды и ионы перемешались, и порядок нарушился, т. е. система «медный купорос — вода» также пере-

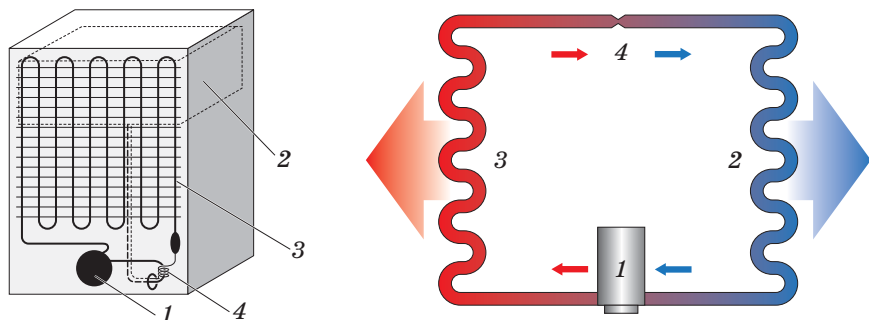


Рис. 79. Схема работы холодильника

шла из упорядоченного состояния в неупорядоченное. Обратный переход сам по себе невозможен.

Мерой неупорядоченности (беспорядка) термодинамической системы является физическая величина, называемая **энтропией** (от *греч.* *entropia* — поворот, превращение). Энтропия системы тем больше, чем больший беспорядок соответствует её состоянию. Энтропия неупорядоченного состояния системы больше, чем упорядоченного. Теплоизолированная система самопроизвольно переходит из состояния с меньшей энтропией в состояние с большей энтропией; обратный самопроизвольный переход невозможен. И второй закон термодинамики можно сформулировать иначе.

Все системы в неживой природе, предоставленные самим себе, стремятся к состоянию максимальной неупорядоченности.

Стремление к максимальной неупорядоченности сродни разрушению порядка — разрушается лужа при испарении воды, разрушается облако, проливаясь дождём, и т. д.

В живом мире, наоборот, всё стремится к упорядоченности или организованности. Так, сперматозоид, сливаясь с яйцеклеткой, образует более сложную живую систему — одноклеточный зародыш, который, в свою очередь, усложняется (дробится, растёт, его клетки дифференцируются, образуя ткани и органы), превращаясь в целостный организм, столь похожий на родительский (рис. 80).

Жизнь — это процесс существования сложных систем, основу которых составляют биополимеры, прежде всего белки и нуклеиновые кислоты, способные самовоспроизводиться и поддерживать своё существование в результате обмена энергией, веществом и информацией с окружающей средой.

Также к наиболее характерным свойствам живого относятся определённый химический состав, дискретность и целостность, наследственность и изменчивость, рост и развитие, раздражимость и движение.

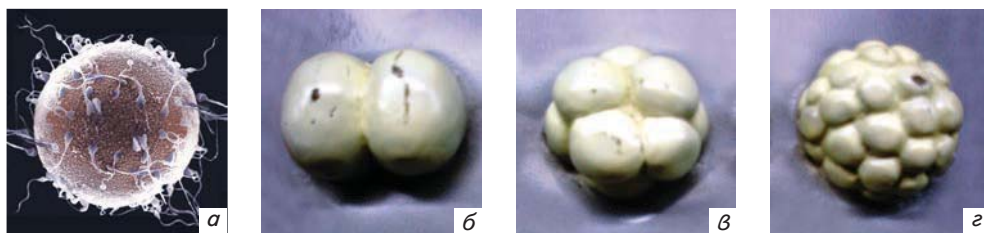


Рис. 80. Начальный этап эмбрионального развития человека: *а* — яйцеклетка, окружённая многочисленными сперматозоидами; *б, в, г* — последовательные стадии дробления зиготы



Рис. 81. Микеланджело Буонарроти. Бог, создающий Землю и размещающий Солнце и Луну на небе. Фрагмент росписи плафона Сикстинской капеллы в Ватикане. 1508—1512 гг.

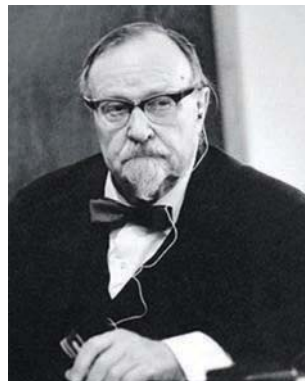
ТЕОРИЯ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ А. И. ОПАРИНА. Откуда и как возникла жизнь на «планете малой, затерянной в пространстве мировом» (В. Брюсов)? Существует несколько теорий происхождения жизни на Земле.

По одной из них наш мир и жизнь на планете сотворены Богом. Глубокая вера в это и высочайшее мастерство позволили великому итальянскому художнику *Микеланджело Буонарроти* (1475—1564) создать гениальную роспись Сикстинской капеллы в Ватикане (рис. 81).

Другого мнения придерживались многие авторитетные учёные. Например, известный вам из курса химии С. Аррениус считал, что жизнь имеет внеземное происхождение, и доказал путём расчётов принципиальную возможность переноса бактериальных спор с планеты на планету, т. е. из космоса. Однако точных доказательств этому нет. Следует принять во внимание и тот факт, что жизнь на нашей планете удивительным образом приспособлена для существования именно в земных условиях и, если она возникла бы на других планетах, то они, вероятнее всего, должны быть планетами земного типа.

Рассмотрим получившую широкую известность **теорию происхождения жизни на Земле** в результате эволюции соединений углерода, в 1924 г. предложенную выдающимся российским учёным, академиком *А. И. Опариным* (1894—1980).

Первый этап, согласно этой теории, состоял в образовании органических веществ из неорганических. Реальность этого этапа экспериментально подтвердили американские учёные *С. Миллер* (1930—2007) и *Г. Юри* (1893—1981) в 1953 г. Под действием электрических разрядов из веществ, характерных для ранней атмосферы Земли (пары воды, углекислый газ, водород, азот, аммиак, метан и циановодород), они получили смесь из нескольких десятков органических соединений — органических кислот (в том числе — аминокислот), азотистых оснований, углеводов и др. Более сильным, чем электрический разряд, фактором, стимулирующим синтез органических веществ из неорганических, явилось ультрафиолетовое излучение. В результате всех этих реакций Мировой океан ранней Земли стал представлять собой «первичный бульон», т. е. раствор органических соединений в воде. Однако органические вещества — ещё не жизнь. Химическую основу жизни составляют биополимеры — белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды и их производные, которые слагаются из аминокислот, нуклеотидов и моносахаридов. Для того чтобы возникли биополимеры, необходимы процессы, идущие с затратой энергии (например, при участии АТФ), а также ДНК, РНК и ферменты, которые сами являются продуктами такого процесса.



Александр Иванович
Опарин

Второй этап, по теории Опарина, — это этап возникновения жизни. В растворах органических соединений образуются **коацерваты** — маленькие капельки, ограниченные полупроницаемой оболочкой — первичной мембраной. В коацерватах могут концентрироваться органические вещества, в них быстрее идут реакции и обмен веществ с окружающей средой. Они способны даже делиться, как бактерии. Экспериментально это предположение Опарина было подтверждено американским исследователем *С. Фоксом* (1912—1998), который увидел эти капельки, назвал их микросферами.

Третий этап состоял в том, что в коацерватах мог сформироваться первичный ген, несущий информацию о первом белке. Вероятно, таким капелькам-коацерватам также были присущи свойства наследственности и даже естественного отбора, потому что выживали более приспособленные и усовершенствованные из них. В результате такого отбора жизнь на Земле выбрала асимметрические органические молекулы аминокислот и сахаров. Такие молекулы, как вы знаете, называют также *хиральными*. Они по-

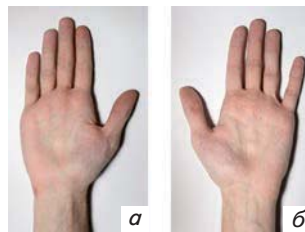


Рис. 82. Две руки:
а — правая; б — левая

хожи друг на друга, как правая рука человека на левую (рис. 82), т. е. являются зеркальными отражениями друг друга. Зеркальные изомеры химических веществ так и называли — правыми и левыми. В природе многие химические вещества представлены изомерами обоих видов. А вот аминокислоты, из которых состоят белки земных организмов, всегда левые, а углеводы (рибоза и дезоксирибоза), входящие в состав нуклеиновых кислот, всегда правые. Экспериментально доказано, что коацерваты-микросферы, построенные из специально отобранных — только левых или только правых — асимметричных биополимеров, росли быстрее симметричных и вытесняли их. Однако, как подчеркнул А. Эйнштейн, то, что аминокислоты у нас левые, а углеводы правые, можно объяснить простой случайностью.

На заключительном же этапе возник биосинтез белка — процесс, который характерен даже для самых примитивных микроорганизмов. Механизм его не менялся за всю историю Земли.

Нетрудно заметить, что предположение о первых этапах возникновения жизни на Земле, по теории Опарина, доказано экспериментально, а вот последний этап носит гипотетический характер.

По мнению учёных, наша планета образовалась около 4,5 млрд лет назад. На возникновение жизни на ней потребовалось около 1 млрд лет. За это время появились первые микроорганизмы — *прокариоты* (одноклеточные организмы, не имеющие ядра, — бактерии и синезелёные водоросли), положившие начало всему многообразию флоры и фауны нашей планеты.

ЕСТЬ ЛИ ЖИЗНЬ НА ДРУГИХ ПЛАНЕТАХ? Гипотезы о существовании жизни на других небесных телах, например на планетах, обращающихся вокруг звёзд вне нашей Солнечной системы, восходят к глубокой древности. Они нашли отражение в древнеиндийской философии, в учениях греческих и римских философов. Страстным проповедником идеи множественности обитаемых миров был великий итальянец Джордано Бруно. Убеждёнными сторонниками этой гипотезы были И. Ньютон, М. В. Ломоносов, П. Лаплас, К. Э. Циолковский и многие другие.

В настоящее время поиски жизни и разума во Вселенной становятся мировой научной проблемой и имеют логическое научное обоснование. Ведь повсюду во Вселенной действуют одни и те же физические законы, все небесные тела состоят из одних и тех же химических элементов, а наше Солнце — обычная, рядовая звезда, расположенная далеко от центра Галактики, которая насчитывает более 100 миллиардов звёзд. В наблюдаемой части Вселенной находится свыше миллиарда галактик. Трудно представить, что в этой невообразимо огромной Вселенной только на нашей планете могла возникнуть жизнь. В космическом пространстве помимо неорганических веществ обнаружены сложные органические соединения. Очевидно, теория происхождения

жизни на Земле, с которой вы познакомились, является аргументом в пользу множественности обитаемых миров. Нередко высказывается предположение о том, что представители высокоразвитых внеземных цивилизаций посещали нашу планету в прошлом (рис. 83).

Сторонники идеи существования инопланетян создали даже целое учение — *уфологию* (от *англ.* Unidentified Flying Object, что в переводе означает «неопознанный летающий объект — НЛО»). В качестве подтверждений своей теории они приводят многочисленные сведения о случаях наблюдения НЛО, исследовании тел инопланетян с разбившихся летательных аппаратов и др. Однако сведения эти нуждаются в тщательной проверке и анализе, так как непроверенные данные и скороспелые выводы наносят научным предположениям о внеземных цивилизациях только вред.



Рис. 83. «Марсианское божество», напоминающее человека в скафандре. Наскальное 6-метровое изображение в пещере плато Тассили в Сахаре. VI в. до н. э.



В следующем параграфе вы узнаете об уровнях организации живой материи на нашей планете.

Вы знаете

- ▶ чем живое отличается от неживого
- ▶ основные положения теории происхождения жизни на Земле А. И. Опарина
- ▶ что поиски жизни и разума во Вселенной стали мировой научной проблемой

Вы можете

- ▶ сформулировать первый и второй законы термодинамики
- ▶ рассказать, какие процессы называются необратимыми
- ▶ привести примеры необратимых и обратимых процессов из разных областей естествознания (физики, химии, биологии)
- ▶ объяснить, что такое коацерваты

Выполните задания

1. Сформулируйте, что такое жизнь с точки зрения химии, физики, биологии.

2. Попробуйте аргументировать, что теория панспермии — внеземного происхождения жизни — состоятельная естественно-научная теория. При подготовке задания используйте дополнительную литературу и возможности Интернета.
3. Объясните, какую роль асимметрия играет в организации живой материи. Как организованы белки и полисахариды с точки зрения асимметрии?
4. Дайте собственное толкование такому утверждению нобелевского лауреата Ф. Крика (вместе с Дж. Уотсоном установил структуру молекулы ДНК): «...Мы не видим пути от «первичного бульона» до естественного отбора. Можно прийти к выводу, что происхождение жизни — чудо, но это свидетельствует только о нашем незнании».

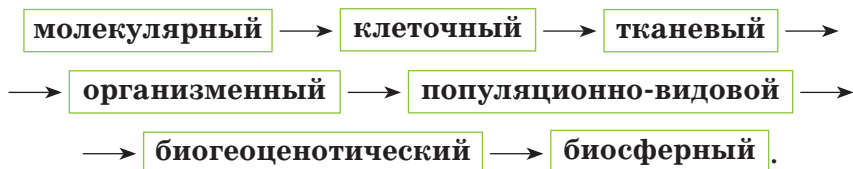
☉ Темы для рефератов

1. Теория происхождения жизни на Земле А. И. Опарина и её экспериментальное подтверждение.
2. Теории происхождения жизни: основные положения и их состоятельность.
3. Уфология в России и в мире.

§ 19. Уровни организации жизни на Земле

1. Вспомните, из каких неорганических веществ и органических соединений состоят клетки живых организмов.
2. Дайте краткие определения белков, жиров, углеводов и нуклеиновых кислот (охарактеризуйте их состав и строение).
3. Перечислите продукты питания с высоким содержанием белков, жиров, углеводов.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ КЛЕТКИ. Все живые существа на нашей планете организованы сходным образом: имеют идентичный химический состав, строение молекул и клеток. Общую систему организации живой материи на Земле можно представить в виде усложняющихся уровней — от молекулярного до биосферного (рис. 84):



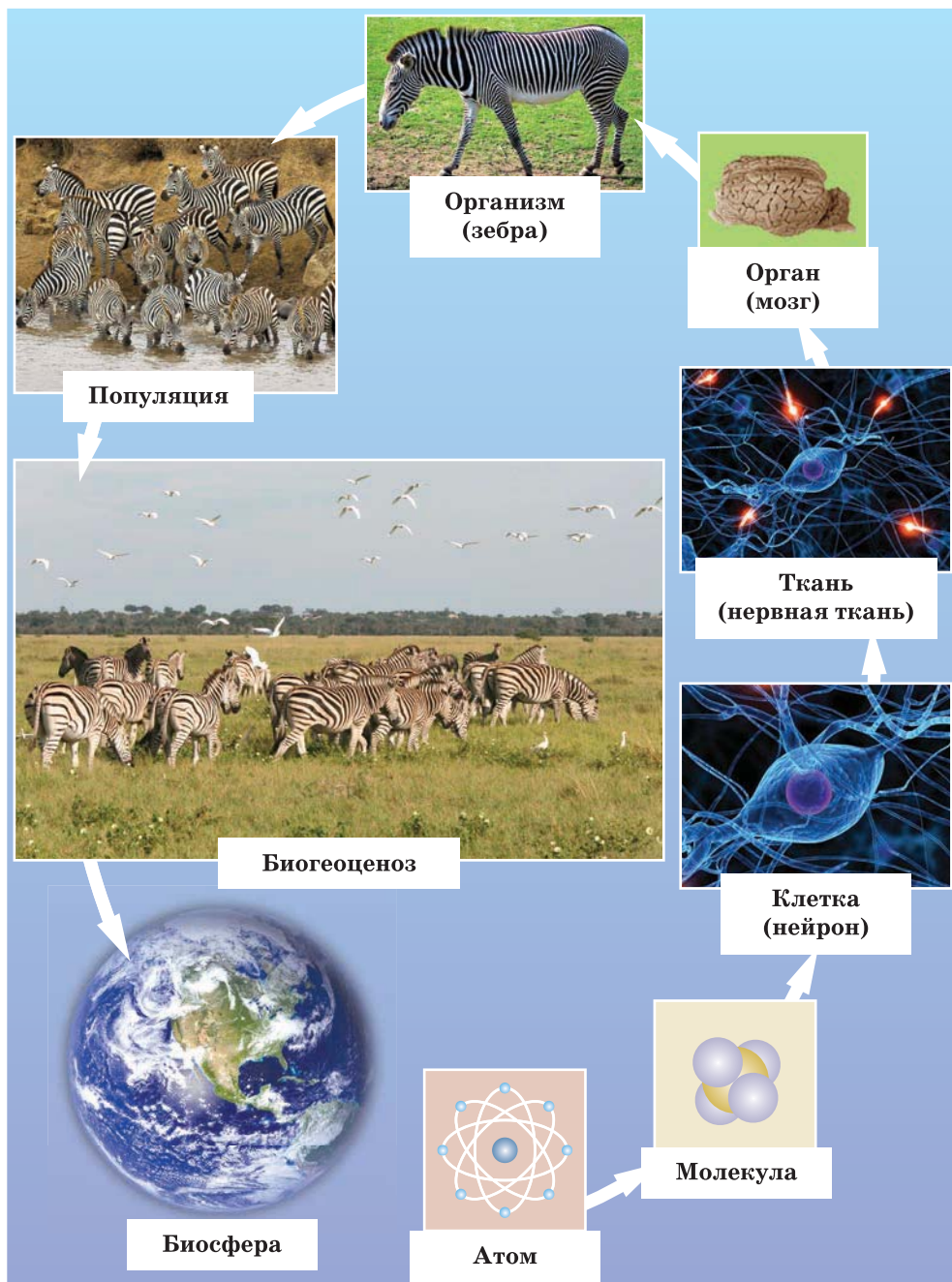


Рис. 84. Уровни организации живой материи

В составе веществ, образующих клетки всех живых организмов (человека, животных, растений), обнаружено более 70 химических эле-

ментов. Эти элементы принято делить на два типа: *макроэлементы* и *микроэлементы*.

Макроэлементы — это элементы, которые содержатся в клетках в больших количествах. Прежде всего это углерод, кислород, азот и водород. В сумме они составляют почти 98% содержимого клетки. Кроме названных к макроэлементам относят также магний, калий, кальций, натрий, фосфор, серу и хлор. Суммарное содержание этих элементов составляет 1,9%. Таким образом, на долю остальных химических элементов приходится около 0,1%. Это **микроэлементы**: железо, цинк, марганец, бор, медь, иод, кобальт, бром, фтор и др.

Как можно заметить, в клетке нет каких-либо особенных элементов, характерных только для живой природы, т. е. на атомном уровне различий между живой и неживой природой не существует. Эти различия обнаруживаются лишь на уровне сложных веществ — на молекулярном уровне. Так, наряду с неорганическими веществами (водой и минеральными солями), клетки живых организмов содержат характерные только для них органические соединения: белки, жиры, углеводы, нуклеиновые кислоты и др.

Расширим сведения об органических веществах клетки, основываясь на ваших знаниях по биологии из курса основной школы.

Белки — *полимеры, построенные из остатков аминокислот*. Белки выполняют ряд биологических функций.

1. Структурная функция. Белки — это строительный материал всех без исключения клеток: бактерий, растений, грибов, животных. И не только: оболочка таких неклеточных форм жизни, к которым относят вирусы, также состоит из белков.

2. Ферментативная функция. Большинство химических реакций в организме протекает в присутствии биологических катализаторов — *ферментов*, имеющих белковую природу. По сравнению с неорганическими катализаторами ферменты обладают уникальной активностью (увеличивают скорости реакций в миллионы раз) и селективностью (каждый фермент катализирует одну реакцию или один тип превращений). В организме человека обнаружено более 2000 ферментов.

3. Транспортная функция. Белковые молекулы осуществляют перенос других молекул или ионов по тканям и органам. Важнейшим транспортным белком является гемоглобин крови, который переносит кислород.

4. Защитная функция. Особые белки — *антитела* (своеобразные «наручники» для проникающих в клетку «преступников» — бактерий) и *антитоксины* — разновидность антител (нейтрализуют яды бактерий, образующиеся в результате их жизнедеятельности) определяют такое защитное свойство организмов, как **иммунитет**. Белки плазмы крови участвуют в свёртывании крови, предохраняя организм от кровопотери.

5. Сократительная (двигательная) функция. В мышечные волокна животных организмов, реснички и жгутики одноклеточных организмов входят сократительные белки — актин и миозин.

6. Сигнальная функция. Белки-рецепторы воспринимают и передают сигналы, поступившие от соседних клеток или из окружающей среды. Например, действие света на сетчатку глаза воспринимается фоторецептором родопсином, имеющим белковую природу.

7. Регуляторная функция. Многие гормоны имеют белковую природу и оказывают влияние на обмен веществ. Например, инсулин, вырабатываемый поджелудочной железой, регулирует содержание сахара в крови, а гормон гипофиза вазопрессин подавляет мочеобразование и повышает кровяное давление. Белки также регулируют внутриклеточные процессы, в частности транскрипцию и трансляцию.

8. Запасающая. В организме животных белки практически не запасаются, кроме альбумина яиц и казеина молока. Однако благодаря белкам в организме могут откладываться про запас некоторые вещества, например железо. Богаты белками семена бобовых растений и яйцеклетки животных, что обеспечивает развитие новых организмов. Кроме этого, белки могут превращаться в жиры и углеводы, но не наоборот.

9. Энергетическая функция. При распаде 1 г белка выделяется 4 ккал энергии. Но в качестве источника энергии белки используются только тогда, когда другие источники (углеводы и жиры) уже израсходованы.

Лабораторный опыт

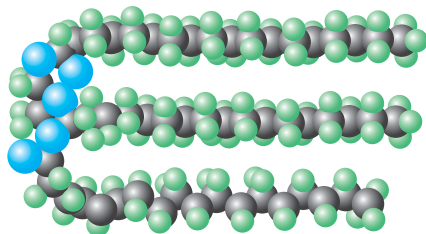
1. В пробирку налейте 2 мл раствора белка, добавьте 2 мл раствора щёлочи, а затем несколько капель раствора сульфата меди (II). Что наблюдаете?

2. В пробирку с 2 мл раствора белка добавьте несколько капель концентрированной азотной кислоты. Что происходит? Нагрейте содержимое пробирки. Что вы видите теперь? Охладите смесь и добавьте к ней по каплям 3—4 мл раствора аммиака. Что наблюдаете?

3. Подожгите несколько нитей шерстяной ткани. Охарактеризуйте запах горячей шерсти.

Жиры — это преимущественно сложные эфиры трёхатомного спирта глицерина и жирных кислот (рис. 85).

Жиры животного происхождения имеют твёрдую консистенцию (исключение составляет жидкий рыбий жир). Жиры растительного происхождения, которые часто называются *маслами*, как правило, имеют жидкую консистенцию (за



● Углерод ● Водород ● Кислород

Рис. 85. Модель молекулы жира (тристеарата)

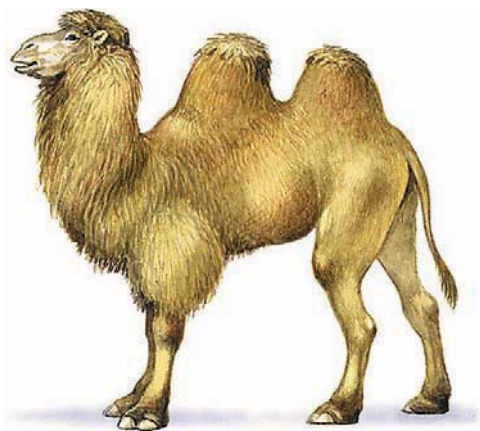


Рис. 86. Двугорбый верблюд (бактриан)

торым живым организмам частично удовлетворять потребность в воде за счёт внутренних ресурсов (вспомните верблюдов; рис. 86). Плоды и семена масличных растений (рис. 87) богаты жирами и поэтому используются для получения растительного масла.

3. Терморегулирующая функция. Из-за низкой теплопроводности жиры играют важную роль в терморегуляции животных (вспомните китов, моржей, морских львов; рис. 88).

4. Защитная функция. Эту функцию — защиту организма от механических воздействий и переохлаждения — выполняют жиры подкожной жировой клетчатки и сальников животных, окружающих внутренние органы.

5. Регуляторная функция. Некоторые жиры и их производные являются гормонами (стероидные гормоны). Кортизон и кортизол (гормоны коры надпочечников человека) стимулируют синтез углеводов и белков, являются регуляторами углеводного и белкового обмена, а также участвуют в развитии стрессовых реакций. Тестостерон и эстрадиол (половые гормоны) регулируют репродуктивную функцию животных и человека.



Рис. 87. Масличные растения: *а* — маслина европейская; *б* — подсолнечник

исключением пальмового масла). Биологические функции жиров следующие.

1. Структурная функция. Вместе с белками и углеводами жиры образуют биологические мембраны.

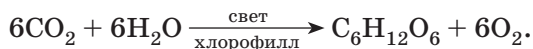
2. Энергетическая функция. Жиры играют роль запасного энергетического вещества. При окислении 1 г жира выделяется 9,3 ккал, т. е. более чем в 2 раза больше энергии, чем при окислении 1 г белка или углевода. При этом также образуется около 1,18 г воды, что позволяет неко-



Рис. 88. Морские львы

Углеводы — соединения, содержащие только углерод, водород и кислород, причём водород и кислород находятся в них, как правило, в таком же соотношении, как и в молекуле воды, — 2 : 1.

Углеводы (сахариды) представляют собой конечные продукты процесса фотосинтеза. В результате этого уникального процесса аккумулируется солнечная энергия. Она преобразуется в энергию химических связей, разрыв которых служит затем источником энергии для процессов биосинтеза. Уравнение реакции фотосинтеза, как и знаменитое уравнение Эйнштейна о взаимосвязи массы и энергии — $E = mc^2$, должен знать каждый образованный человек:



Углеводы содержатся в клетках всех живых организмов. В животной клетке их доля составляет 1—2%, а в растительных — иногда достигает 85—90% от массы сухого вещества клетки.

Своё название углеводы получили по тем элементам, которые входят в состав их молекул. Большинство углеводов соответствуют общей формуле $\text{C}_n(\text{H}_2\text{O})_m$.

Лабораторный опыт

В пробирку с 3—4 каплями раствора сульфата меди (II) добавьте 2—3 мл раствора щёлочи. Что происходит? Затем добавьте в пробирку 3 мл раствора глюкозы и смесь взболтайте. Что наблюдаете? О чём говорит этот опыт?

Нагрейте содержимое пробирки. Что вы видите? Сделайте вывод.

К 3 мл аммиачного раствора оксида серебра добавьте 1—2 мл раствора глюкозы и нагрейте смесь на пламени спиртовки. Старайтесь нагревать содержимое пробирки равномерно и медленно. Что происходит? Объясните.



Рис. 89. Растения-крахмалоносы: а — картофель; б — кукуруза; в — рис

Лабораторный опыт

В пробирку с 3—4 каплями раствора сульфата меди (II) добавьте 2—3 мл раствора щёлочи. Что происходит? Затем добавьте в пробирку 3 мл раствора сахарозы и взболтайте смесь. Что наблюдаете? О чём говорит этот опыт?

К раствору сахарозы в стаканчике доливайте небольшими порциями известковую воду, постоянно перемешивая жидкость. Что происходит? Почему?

Лабораторный опыт

В пробирку насыпьте немного порошка крахмала. Добавьте воды и взболтайте. Что можно сказать о растворимости крахмала в воде?

Вылейте взвесь крахмала в стаканчик с горячей водой и прокипятите её. Что наблюдаете?

В пробирку с 2—3 мл полученного крахмального клейстера добавьте каплю спиртового раствора иода. Что произошло? Объясните.

Много углеводов содержится во фруктах и овощах. Углеводом является, например, свекловичный, а также тростниковый сахар. Мёд почти целиком состоит из углеводов.

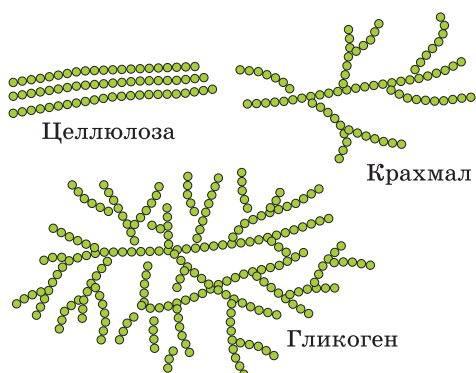


Рис. 90. Формы молекул

К углеводам относят различные виды крахмала, которые входят в состав таких важных для производства продуктов питания растений, как картофель и злаки (пшеница, рис, кукуруза, рожь и др.) (рис. 89). Разновидность углеводов, называемая целлюлозой, является главной составной частью клеточных стенок всех высших растений. На рисунке 90

показано строение некоторых сложных высокомолекулярных углеводов — полисахаридов.

Биологические функции углеводов следующие.

1. Энергетическая функция. Хотя при окислении 1 г глюкозы выделяется 4,1 ккал энергии, т. е. в 2 раза меньше, чем при окислении 1 г жира, именно она является основным источником энергии для живых организмов, а жир выполняет функцию резервного энергетического вещества.

2. Структурная функция. В растительных клетках целлюлоза является частью клеточной стенки. Углеводы рибоза и дезоксирибоза входят в состав молекул соответствующих нуклеиновых кислот — РНК и ДНК.

3. Запасающая функция. Углеводы создают запас питательных веществ: в растительных клетках в виде крахмала, в клетках животных и грибов в виде гликогена.

4. Рецепторная функция. Клеточные рецепторы — структуры, реагирующие на определённые химические вещества изменением своей формы, имеют в своём составе особые сложные углеводы.

Нуклеиновые кислоты своё название получили от латинского слова *nucleus* — ядро, т. е. их можно именовать «ядерными кислотами». Эти важнейшие природные полимеры обеспечивают передачу наследственных свойств организмов.

Что представляет собой нуклеотид? Это трёхзвенное соединение, состоящее из азотистого основания, связанного с рибозой (РНК) или дезоксирибозой (ДНК) и остатком фосфорной кислоты (рис. 91).

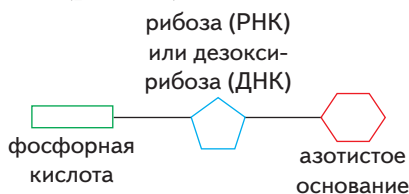


Рис. 91. Схематичное строение нуклеотида

Нас не обманешь божьим раем:
Бессмертья нет — мы это знаем.
Но всё ль развеется в былом?
Наследственность бессмертной птицей
Влюблённым на плечи садится
И осеняет их крылом.

В. Шефнер

» **Напомним**, что различают два типа нуклеиновых кислот: дезоксирибонуклеиновые (ДНК) и рибонуклеиновые (РНК). ДНК и РНК — это природные биополимеры, состоящие из нуклеотидов, т. е. полинуклеотиды.

УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИЗНИ. В начале параграфа мы упоминали об уровнях организации живой материи. Повторим некоторые из них более обстоятельно.

Молекулярный уровень. С этого уровня, как бы просто или сложно ни был устроен организм, начинаются все важнейшие процессы его жизнедеятельности.

Клеточный уровень. Структурной и функциональной единицей всех живых организмов является **клетка**. Клеточный уровень организации жизни будет более подробно рассмотрен в следующем параграфе.

Тканевый уровень. Многоклеточные организмы образованы не просто суммой клеток, а тканями.

Ткань — это группа клеток, сходных по строению, происхождению и выполняемой функции.

Ткани возникли в ходе эволюционного развития. Как вы помните из курса биологии основной школы, у животных различают несколько типов тканей — эпителиальную, соединительную (в том числе кровь и лимфу), мышечную, нервную; у растений — образовательную, покровную, механическую, основную, проводящую, секреторную.

У животных мышечная система образована *мышечной* тканью, нервная — *нервной*, эпидермис кожи и железы — *эпителиальной*, кости и хрящи, кровь и лимфа, подкожная жировая клетчатка и другие структуры — *соединительной* тканью.

У растений из *образовательной* ткани построены растущие участки побегов, корней и стволов, из *покровной* — покровы различных органов, из *проводящей* — сосуды (древесина) и ситовидные трубки (луб), по которым движутся соответственно растворы минеральных и органических веществ. *Основная* ткань находится, как правило, в листьях и молодых стеблях под покровной тканью, широко распространена в корнях, клубнях, корнеплодах, в мякоти плодов и семян. *Секреторная* ткань входит в состав образований растений (например, нектарники, железистые волоски), выделяющих продукты метаболизма или капли воды.

Организмальный уровень. Все перечисленные виды тканей образуют органы.

Несколько органов, выполняющих общую функцию, образуют структурное и функциональное объединение — **систему органов**: сердечно-сосудистую, нервную, дыхательную, выделительную и т. д. Системы органов образуют организм.

Организм — биологическая целостная система, состоящая из взаимозависимых и соподчинённых элементов, взаимоотношения которых и особенности строения определены их функционированием как целое.

Популяционно-видовой уровень. Все системы органов взаимосвязаны друг с другом, что обеспечивает целостность живого организма и наилучшее его взаимодействие с окружающей средой. Организмы, как одноклеточные, так и многоклеточные, объединены в такие структурные единицы систематики, которые называются видом.

Вид — это совокупность особей, сходных по морфофизиологическим свойствам, имеющих общее происхождение, занимающих определённый ареал, свободно скрещивающихся и дающих плодовитое потомство.

Форма существования вида — *популяция* — совокупность особей одного вида, длительно обитающих на определённой территории и относительно изолированных от других особей того же вида. Популяция — это элементарная единица эволюции, с которой, как и с понятием «биоценоз», вы более подробно познакомитесь далее.



В следующем параграфе речь пойдёт о разнообразии живых существ, строении и функциях клеточных и внеклеточных форм жизни.

Вы знаете

- ▶ химический состав клетки
- ▶ биологические функции белков, жиров и углеводов
- ▶ уровни организации живой материи

Вы можете

- ▶ описать принципиальное строение нуклеиновых кислот и их роль в передаче наследственных свойств живых организмов
- ▶ перечислить уровни организации жизни и привести примеры каждого из них
- ▶ сформулировать, что такое ткань, перечислить типы растительных и животных тканей
- ▶ объяснить, что такое орган и система органов
- ▶ назвать признаки, по которым особи объединяются в вид

Выполните задания

1. Какие химические элементы входят в состав клеток живых организмов? Какие из них относятся к макроэлементам, какие — к микроэлементам?
2. Объясните, что представляют собой белки, перечислите их биологические функции.
3. Дайте характеристику углеводов, расскажите об их биологических функциях.
4. Сформулируйте, что такое жиры, назовите их функции.

Темы для рефератов

1. Химическая картина живой природы.
2. Вид и его признаки (на примере из курсов ботаники и зоологии).

§ 20. Многообразие живых организмов. Клетка и неклеточные формы жизни

1. Опишите строение растительной и животной клетки.
2. Дайте определение бактерий и вирусов.
3. Перечислите заболевания, возбудителями которых являются бактерии и вирусы.

ПРОКАРИОТЫ И ЭУКАРИОТЫ. По различным оценкам, на нашей планете насчитывается от 1,9 до 8 млн биологических видов, и большинству из них человек дал названия. Для описания и обозначения множества как ныне существующих на Земле, так и ископаемых растений, животных, микроорганизмов и грибов необходима определённая система. Эти задачи выполняет раздел биологии, который так и называется — **систематика**.

Так как структурной единицей организации живых организмов является клетка, то особенности её строения позволили разделить все живые организмы на два надцарства: прокариоты и эукариоты.

Прокариоты (от *лат.* pro — раньше и *греч.* karion — ядро) — доядерные организмы. Клетки таких организмов не имеют чётко оформленного ядра, их ДНК расположена прямо в цитоплазме (рис. 92). У таких организмов нет мембранных органоидов, характерных для эукариот,

их функции выполняют отдельные участки клеточной мембраны. К прокариотам относят бактерии и сине-зелёные водоросли.

Бактерии изучает особый раздел биологии — **микробиология**.

Бактерии — одноклеточные организмы, в центральной части цитоплазмы которых располагается одна кольцевая молекула ДНК. Размножаются бактерии делением, скорость которого необычайно высока. Благодаря высоким темпам размножения, а также способности образовывать споры (бактерии покрываются плотной оболочкой и переносят неблагоприятные условия), бактерии легко приспосабливаются к условиям окружающей среды, а пото-

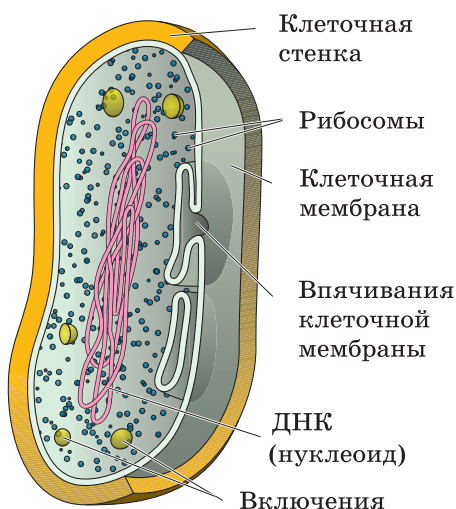


Рис. 92. Строение клетки бактерии



Рис. 93. Питер Брейгель Старший. Триумф смерти (фрагмент). Ок. 1562 г.

му вездесущи. Споры представляют собой клетки, покрытые плотной защитной оболочкой, с резко сниженным уровнем метаболизма.

Бактерии двулики: они причиняют человеку страшный вред и приносят немалую пользу. Например, болезнетворные бактерии чумы, холеры, проказы, столбняка, дифтерии, менингита, тифа, туберкулёза и т. п. стали причиной гибели сотен тысяч и даже миллионов людей в результате эпидемий (рис. 93). В то же время, по одной из гипотез, благодаря бактериям, которые разлагали остатки доисторических растений и животных, образовались залежи нефти, угля, газа, обеспечившие развитие человеческой цивилизации. Как маленькие химические фабрики, без устали работают клубеньковые бактерии, живущие на корнях некоторых бобовых растений (рис. 94), — они обогащают почву доступной для растений формой азота. Молочнокислые

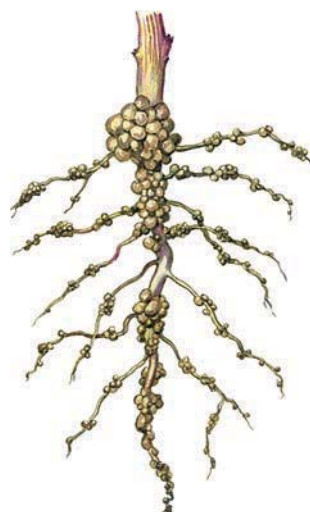


Рис. 94. Клубеньки на корнях бобового растения

бактерии — основа производства молочнокислой продукции (кефира, сметаны, сыра). Бактерии помогают убирать разливы нефти и добывать цветные металлы — сейчас интенсивно развивается специальная отрасль металлургии — микробиологическая металлургия. Без бактерий невозможно представить успехи биологической и генной инженерии, о которых вы узнаете в процессе дальнейшего изучения нашего курса.

Синезелёные водоросли (цианобактерии) своё название получили потому, что содержат два пигмента: зелёный — хлорофилл и синий — фикоцианин. В центре клетки синезелёных водорослей находится кольцевая ДНК. В цитоплазме этих водорослей имеется два вида везикул (небольших органоидов, представляющих собой пузырьки, отделённые от цитоплазмы мембраной): везикулы с запасными питательными веществами и газовые везикулы, заполненные азотом. Благодаря последним эти водоросли всплывают на поверхность морей и океанов, где больше солнца и лучше условия для фотосинтеза. Размножаются синезелёные водоросли делением, но новые клетки не расходятся, а как бы слипаются благодаря слизистой оболочке и образуют плотную зелёную массу длиной до нескольких сотен километров и толщиной до 1 м. Цианобактерии играют двойную роль. Именно благодаря им около 2 млрд лет назад количество кислорода в воздухе достигло так называемой точки Пастера — 1% от его содержания в современной атмосфере. Учёные считают, что такой концентрации было достаточно для появления аэробного дыхания. И сейчас цианобактерии вносят свой вклад в поддержание постоянного состава атмосферы. Однако именно из-за этих водорослей в результате загрязнения водоёмов «цветут» пруды (рис. 95) и озёра, превращаясь в зловонные гнилые болота.

Эукариоты (от *лат.* eu — тот, кто имеет, и *греч.* karion — ядро) — организмы, клетки которых имеют ядро. *Ядро* отграничено от ци-



Рис. 95.
В. Д. Поленов.
Заросший пруд.
1879 г.

топлазмы ядерной мембраной, внутри ядра содержатся *хромосомы* — ДНК в комплексе с белками. В *цитоплазме* расположены органоиды:

— *митохондрии*, которые выполняют функцию энергетических станций клетки;

— *рибосомы*, где на основе информации, представленной в информационной РНК, аминокислоты «сшиваются» в молекулы белков;

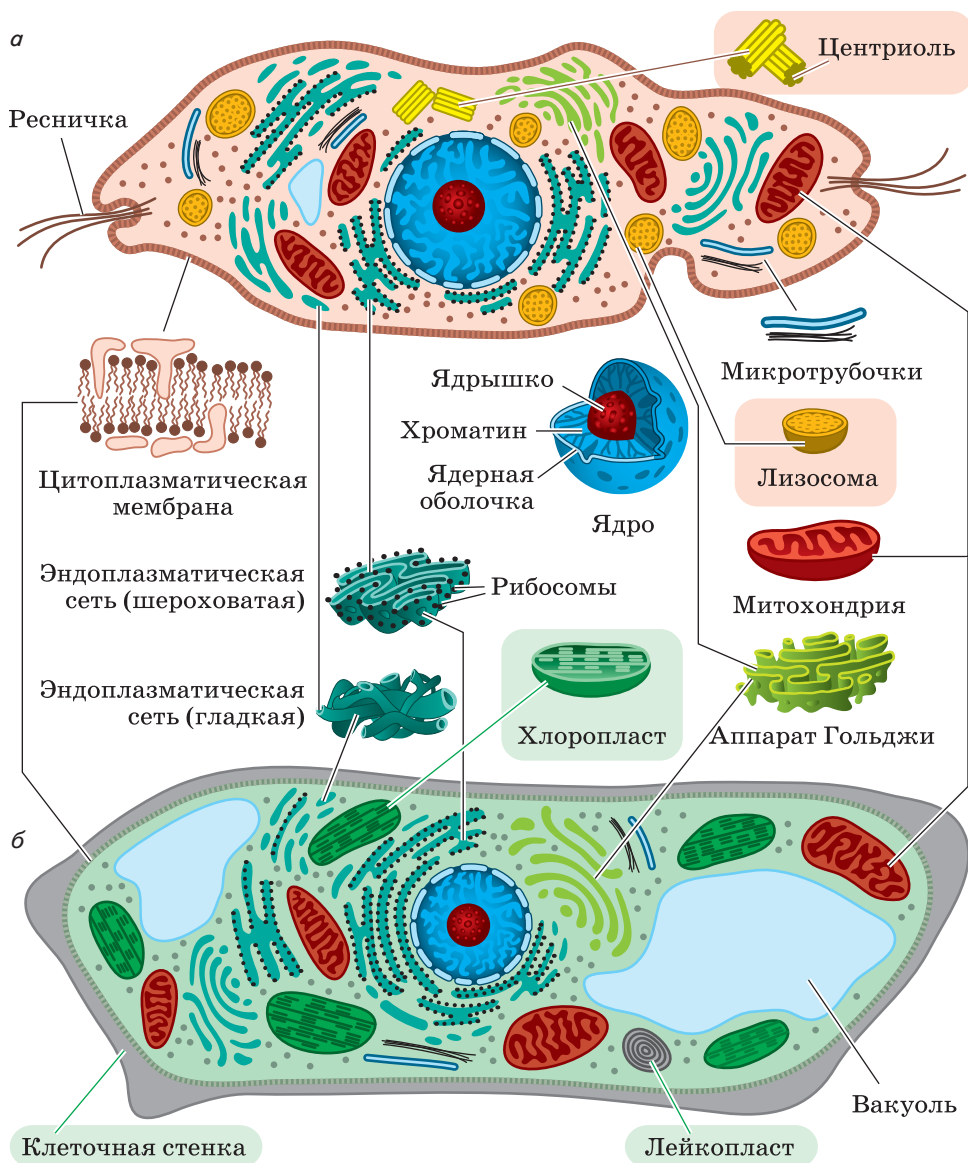


Рис. 96. Схема строения клетки: *а* — животной; *б* — растительной

— *гранулярная эндоплазматическая сеть*, на мембранах которой синтезируются белки, а в полостях накапливаются и транспортируются органические вещества клетки (белки, жиры, углеводы);

— *аппарат Гольджи*, где эти накопленные вещества «упаковываются» и используются самой клеткой или покидают её границы;

— *лизосомы*, играющие роль «пищеварительной системы» клетки.

В клетках растений имеются особые органоиды — *пластиды*, важнейшими из которых являются зелёные хлоропласты. В них-то и происходит главный процесс фотосинтеза: накопление солнечной энергии и образование органических веществ из углекислого газа и воды. Кроме этого, растительная клетка содержит *вакуоли* — крупные полости, наполненные клеточным соком. И наконец, растительная клетка отличается от животной *клеточной стенкой*: помимо мембраны, она имеет дополнительную оболочку из целлюлозы (рис. 96).



Теодор Шванн

КЛЕТочная ТЕОРИЯ Т. ШВАННА. В 1839 г. была сформулирована клеточная теория, авторами которой являются немецкие учёные *Т. Шванн* (1810—1882), *М. Шлейден* (1804—1881), *Р. Вирхов* (1821—1902). Эта теория стала одним из трёх величайших открытий XIX в. наряду с законом сохранения энергии и учением Ч. Дарвина.

Приведём основные положения клеточной теории.

— *Клетка — это элементарная, функциональная единица строения всего живого (кроме вирусов, которые не имеют клеточного строения), способная к самовоспроизведению, саморегуляции и самообновлению.*

— *Клетка — целостная система, состоящая из множества закономерно связанных между собой органоидов.*

— *Клетки всех организмов гомологичны, т. е. сходны по своему строению, химическому составу, основным проявлениям жизнедеятельности и обмену веществ.*

— *Размножение клеток происходит только путём деления материнской клетки.*

— *Многоклеточный организм представляет собой сложную систему клеток, объединённых в ткани, из которых, в свою очередь, построены органы, связанные друг с другом нервной и гуморальной регуляцией.*

К надцарству эукариотов относят три царства: **растения, животные и грибы.**

Простейшие. Большой интерес представляют эукариотические организмы, обладающие признаками животных и находящиеся на кле-

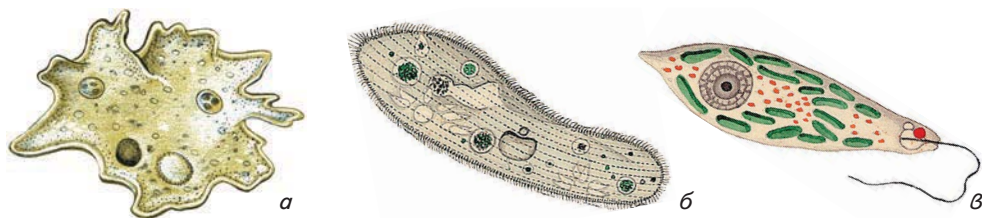


Рис. 97. Простейшие: *а* — амёба; *б* — инфузория туфелька; *в* — эвглена зелёная

точном уровне организации, — **простейшие** (рис. 97). Их тело морфологически представлено одной клеткой, а функционально соответствует целому организму. Среди них есть организмы, которые на свету питаются как растения, а в темноте — как животные (например, эвглена зелёная). Именно в этой группе организмов проходит «граница» между растительным и животным миром.

Как и прокариоты, простейшие легко приспосабливаются к самым экстремальным условиям изменяющейся среды, а потому встречаются во всех средах жизни. Они могут переходить в состояние покоя, если условия становятся неблагоприятными для жизни, и делаются активными, если обстановка улучшается. Делятся простейшие очень интенсивно, приблизительно раз в 3 часа.

Роль в природе как и прокариот, так и простейших неоднозначна. Их роль в биоценозе может быть положительной: остатки раковинных амёб сформировали огромные меловые залежи; живущие в почве и пресных водоёмах простейшие перерабатывают отмершие остатки; некоторые инфузории, равно как и бактерии, обитают в сложном желудке коров, помогая им переваривать растительную целлюлозу. Вместе с тем простейшие играют и отрицательную роль: болезнетворные простейшие являются причиной дизентерии, малярии, сонной болезни, паразитируют на рыбах и других животных.

ВИРУСЫ — НЕКЛЕТОЧНАЯ ФОРМА ЖИЗНИ. Царства растений, животных и грибов хорошо изучены вами в курсах ботаники и зоологии основной школы, поэтому характеризовать эти царства мы не будем. Остановимся более подробно на неклеточной форме жизни — **вирусах**.

Устроены они очень просто: белковая оболочка, в которой заключена молекула ДНК или РНК. В окружающей среде вирусы нередко представляют собой кристаллические образования, подобные солям.

Вирусы можно рассматривать как объект неживой природы — сложную молекулу, так и живой организм. Вне клетки хозяина они не проявляют признаков жизни, но для вирусов, внедрившихся в клетку, характерны важнейшие свойства живого — наследственность и изменчивость. Например, вирус, вызывающий полиомиелит, сохранил свою индивидуальность на протяжении нескольких тысячелетий. Так,

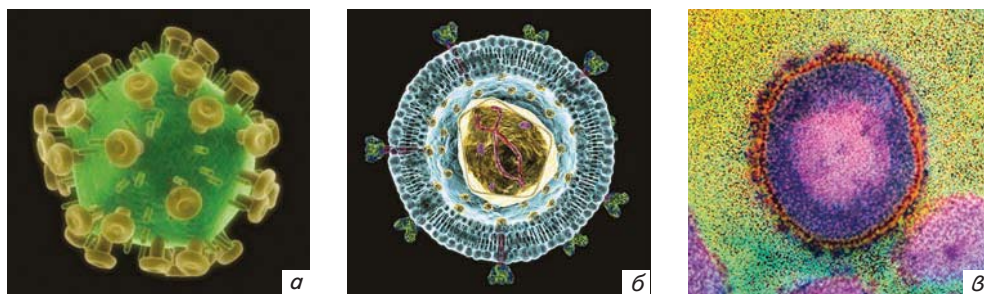


Рис. 98. Вирус иммунодефицита человека (ВИЧ): *а* — модель вируса; *б* — схема строения; *в* — электронная фотография

он был причиной тяжёлого заболевания египетских фараонов и американского президента Ф. Рузвельта. И наоборот, вирусы гриппа непрерывно изменяются, человеку приходится постоянно изобретать средства борьбы с новыми штаммами гриппа.

Вариантов проникновения вируса в клетку может быть несколько. Опишем один из них для животной клетки. Участок мембраны клетки, к которому присоединился вирус, погружается в цитоплазму и превращается в вакуоль. Вакуоль, стенка которой состоит из цитоплазматической мембраны, может сливаться с другими вакуолями или ядром. Внедрившись в клетку, вирус встраивает свою ДНК или РНК в её генетический аппарат, что приводит к синтезу вирусных белков и нуклеиновых кислот. В клетке формируется множество вирусов, которые захватывают всё новые и новые клетки — развивается вирусная инфекция.

К вирусным инфекционным заболеваниям относят оспу, герпес, корь, ветрянку, паротит (свинку), гепатит, ряд респираторных заболеваний. Вирусное происхождение имеют некоторые опухоли, обычные бородавки. И наконец, вирус — причина страшного заболевания нашего времени, известного под названием СПИД (рис. 98). Пока не существует эффективных способов лечения этого заболевания, лучшим способом защиты от СПИДа является соблюдение мер предосторожности.

Отметим, что инфекционный процесс является специфическим: определённый вирус проникает и размножается в клетках только определённых органов. Так, вирус гепатита А проникает и размножается только в клетках печени, вирус гриппа — в клетках эпителия слизистой оболочки верхних дыхательных путей и т. п.

Наука о вирусах — **вирусология** — сравнительно молодая, но в её историю вписано немало славных страниц. Основателем этой науки мы с полным правом можем считать *Д. И. Ивановского* (1864—1920), который в 1892 г. открыл вирус табачной мозаики. Английский врач *Э. Дженнер* (1749—1823) провёл первую вакцинацию (от *англ.* va-

riola vaccinae — оспа коровья) — профилактику против эпидемии оспы. В наши дни разработаны вакцины против многочисленных вирусных заболеваний.



В следующем параграфе будет рассказано о сообществах живых организмов, составляющих единое целое со средой их обитания.

Вы знаете

- ▶ чем отличаются прокариоты от эукариотов
- ▶ основные положения клеточной теории Т. Шванна
- ▶ что вирусы — неклеточная форма жизни

Вы можете

- ▶ сформулировать основные положения клеточной теории
- ▶ сравнить строение животной и растительной клетки, а также бактерий и вирусов
- ▶ охарактеризовать простейших и раскрыть их значение в природе и жизни человека
- ▶ описать строение вирусов, объяснить, почему их рассматривают как своеобразный мостик между живой и неживой природой

Выполните задания

1. Дайте определение прокариот, перечислите организмы, которые относятся к этому надцарству.
2. Расскажите, как устроены клетки бактерий, синезелёных водорослей. Охарактеризуйте роль этих прокариот в природе и жизни человека.
3. Опишите строение эукариотической клетки, её ядра. Какую функцию выполняют её отдельные органоиды?
4. Перечислите признаки простейших.
5. Расскажите о роли эукариотов в природе и жизни человека.

Темы для рефератов

1. «Чёрная смерть» в Европе XVI в. 2. Бактерии на службе человека. 3. Проклятие вирусов: открытия и загадки. 4. СПИД — чума XX в. 5. Отражение истории мировых эпидемий в искусстве, литературе, кинематографе.

§ 21. Экологические системы

1. Вспомните, что вы знаете об экологии.
2. Перечислите известные вам акции в России по защите окружающей среды.

ПОНЯТИЕ ЭКОСИСТЕМЫ. Совокупность совместно обитающих живых организмов (*биоценоз*) и условия их существования (среда обитания), объединённых в саморегулирующуюся и саморазвивающуюся систему, называют **экосистемой**. Она поддерживается круговоротом веществ и однонаправленным потоком энергии.

Термин «экологическая система», или «экосистема», был предложен в 1953 г. английским биологом А. Тенсли (1871—1955) для обозначения «основных природных единиц на поверхности Земли». Часто вместо термина «экосистема» используют аналог — термин «биогеоценоз», введённый в науку в 1940 г. отечественным учёным В. Н. Сукачёвым (1880—1967). Следовательно, экосистема, или биогеоценоз¹, — это элементарная структурная единица («клеточка») биосферы. Экосистемой можно считать озеро в целом или только его часть, например прибрежную, лес или отдельно взятое упавшее дерево, даже пень. Это природные экосистемы. Посмотрите на чудесный пейзаж — пример устойчивой естественной экосистемы, — написанный замечательным русским живописцем Поленовым (рис. 99). Человек создаёт искусственные



Владимир Николаевич
Сукачёв

экосистемы — огород, сад, парк, пруд, поле (рис. 100) и т. д. Однако вне зависимости от величины, степени сложности или способа возникновения все экосистемы являются открытыми системами, в которых происходит непрерывный обмен веществ и энергии (рис. 101).

Все живые организмы в экосистеме по типу питания делятся на три группы:

— *продуценты* — прежде всего зелёные растения, которые в процессе фотосинтеза производят органические вещества из неорганических (их также называют *автотрофами*);

¹ Экосистему, границы которой определены растительным сообществом (например, ельник, берёзовая роща), также называют биогеоценозом.



Рис. 99. В. Д. Поленов. Река Клязьма. Жуковка. 1909 г.

— *консументы* — животные, потребляющие готовые органические вещества (консументы первого порядка — травоядные, второго, третьего и т. д. — плотоядные);

— *редуценты* — микроорганизмы и грибы, разрушающие и минерализующие органические остатки, т. е. организмы, которые завершают круговорот веществ для поступления их в новый цикл (консументы и редуценты относятся к *гетеротрофам*).



Рис. 100. Поле — искусственная экосистема

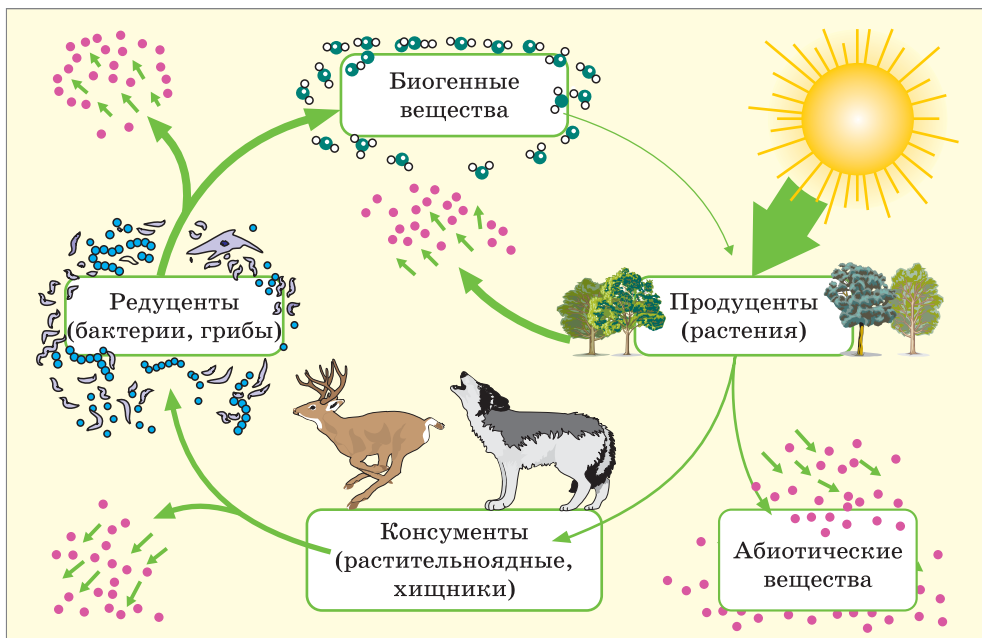


Рис. 101. Необходимые компоненты экосистемы и непрерывный обмен веществ и энергии в ней

ЦЕПИ ПИТАНИЯ. Все организмы вовлечены в круговорот веществ, в процессе которого происходит преобразование энергии. Наглядно проследить этот круговорот позволяют **цепи питания**.

Цепи питания — это последовательность организмов, получающих вещества и энергию из предыдущих звеньев, становясь источником веществ и энергии для последующих звеньев.

Число звеньев в этих цепях ограничено, обычно не более пяти. Большинство цепей питания начинаются растением, а продолжаются травоядными животными и хищниками. Редуценты разрушают органические вещества на каждом уровне этой цепи и являются её конечным звеном. Из цепей питания в биогеоценозах образуются **сети питания** (рис. 102).

Так как в каждом последующем звене происходит уменьшение энергии и пищевой массы примерно в 10 раз по сравнению с предыдущим звеном, то наглядно такие потери можно представить в виде пирамиды (рис. 103).

В отличие от веществ, которые совершают непрерывный круговорот в экосистеме, энергия такого круговорота не совершает — она может быть использована только один раз. Это полностью соответствует зако-

нам физики — закону сохранения и превращения энергии (например, световая энергия превращается в химическую энергию органических веществ). Превращение энергии из одного вида в другой обязательно сопровождается потерей некоторой её части, которая рассеивается в виде тепловой энергии, недоступной для организмов экосистемы. Для постоянного однонаправленного потока энергии по пищевым цепям экосистемы требуется непрерывное поступление её от Солнца — единственного источника энергии для всей биосферы.

Почему же в каждом звене пищевой цепи происходит уменьшение энергии? Перечислим эти причины.

1. Не вся энергия, содержащаяся в пище, доступна травоядным животным, которые, например, не съедают корни или грубые стебли растений. В свою очередь, часть энергии тканей травоядных (хитиновой оболочки или рогов, копыт, шерсти и др.) не усваивается организмом хищника, а часть её теряется в процессе преобразования в ткани хищника.

2. Значительная часть энергии, полученная с пищей, тратится на жизнедеятельность её потребителей — передвижение, дыхание, размножение, охоту, заботу о потомстве и т. д., а также рассеивается в виде тепла.

Ничтожная часть энергии достаётся редуцентам, и не случайно их размеры так малы.

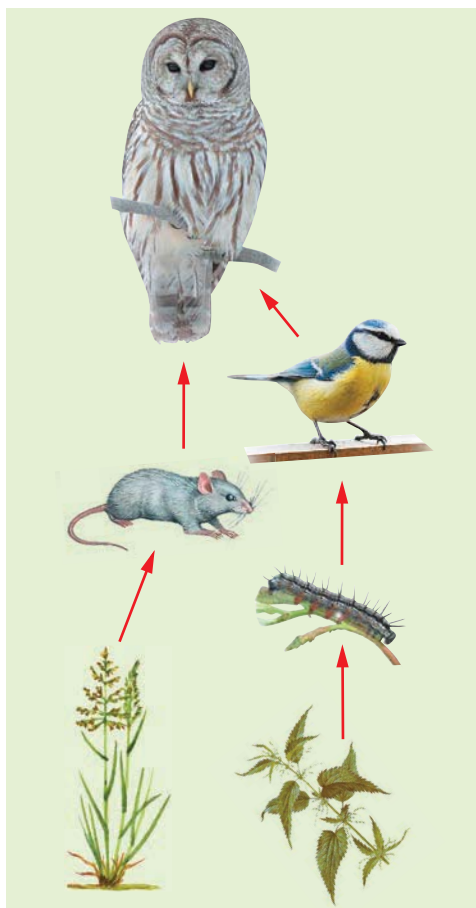


Рис. 102. Фрагмент сети питания в природной экосистеме (на рисунке не представлены редуценты)

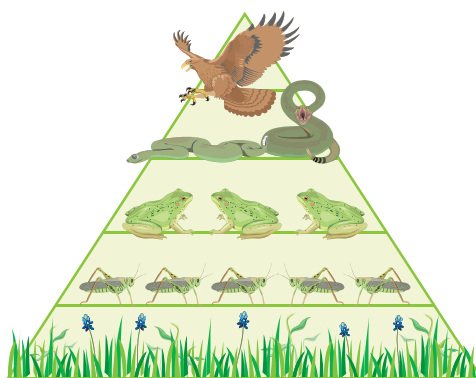


Рис. 103. Пример экологической пирамиды

ЭКОЛОГИЯ КАК НАУКА. Важнейшим свойством природных экосистем является их устойчивость, т. е. постоянство, которое поддерживается цепями питания. Устойчивость носит исторический характер и обеспечивается условиями окружающей неживой природы (свет, температура, влияние химических веществ и др.) и взаимоотношениями между живыми организмами, образующими экосистему (конкуренция, хищничество и др.).

Экология — это наука, изучающая взаимодействие организмов между собой и окружающей средой.



Эрнст Геккель

Термин «экология» (от *греч.* oikos — жилище и logos — наука) был введён немецким биологом *Э. Геккелем* (1834—1919) в 1870 г. Одним из направлений современной экологии является изучение влияния неживой природы на организмы и наоборот. В результате взаимодействия живых организмов и среды их обитания сформировалась современная биосфера. В свою очередь, жизнедеятельность организмов оказывает влияние на неживую природу, которая развивается и изменяется вместе с живой природой. Достаточно напомнить о роли синезелёных водорослей в формировании состава атмосферы Земли. Экология

не только изучает закономерности существования и развития экосистем, но и является научной основой для разработки мероприятий по охране природы, мониторинга экосистем.

На живые организмы, живущие в экосистемах, прямо или косвенно влияют различные компоненты окружающей среды — **экологические факторы**. Различают факторы:

— *абиотические* — воздействующие на организм компоненты неживой природы (климат, почва, рельеф, свет, температура, вода и т. д.);

— *биотические* — совокупность взаимодействия живых организмов и их влияние друг на друга;

— *антропогенный* — совокупность воздействия на живые организмы и природу в целом человека и его деятельности.

Не забывайте, что бережное отношение к природе, основанное на глубоких знаниях биологии растений и животных, не только сохраняет её, но и может дать значительный экономический эффект.



В следующем параграфе поговорим об особой оболочке, образовавшейся на Земле в процессе эволюции, — о биосфере.

Вы знаете

- ▶ что такое экосистема
- ▶ что представляют собой продуценты, консументы, редуценты
- ▶ как складываются цепи питания
- ▶ что изучает экология

Вы можете

- ▶ объяснить, как в цепях питания происходит обмен веществ и энергии
- ▶ показать, как выполняется закон сохранения энергии при обмене энергией в цепях питания
- ▶ определить причины, по которым в каждом звене пищевой цепи происходит уменьшение энергии

Выполните задания

1. Объясните, что такое экосистема. Приведите примеры природных и искусственных экосистем различного масштаба.
2. Сформулируйте, какие организмы называются гетеротрофными, какие автотрофными. Приведите примеры систематических групп животных, относящихся к гетеротрофам.
3. Перечислите экосистемы, о которых упоминается в стихотворении А. Фета «Вечер».

Прозвучало над ясной рекою,
Прозвенело в померкшем лугу,
Прокатилось над рощей немою,
Засветилось на том берегу.

Далеко, в полумраке, лугами
Убегает на запад река.
Погорев золотыми каймами,
Разлетелись, как дым, облака.

На пригорке то сыро, то жарко,
Вздохи дня есть в дыханье ночном,—
Но зарница уж теплится ярко
Голубым и зелёным огнём.

Темы для рефератов

1. Экологические катастрофы, способы ликвидации их последствий и предупреждения.
2. Глобальные экологические проблемы современности и пути их решения.

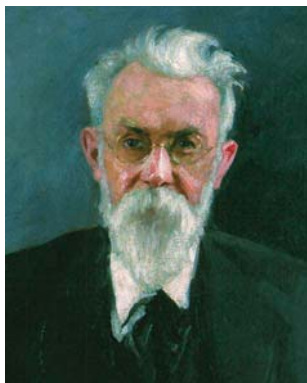
§ 22. Биосфера

1. Расскажите, что вам известно об атмосфере, литосфере, гидросфере и биосфере Земли.
2. Перечислите наиболее острые экологические проблемы современности.

БИОСФЕРА И ЕЁ СТРУКТУРА. Биосфера является глобальной экосистемой нашей планеты.

Биосфера — это оболочка Земли, заселённая живыми организмами и преобразованная ими.

Понятие «биосфера» (от *греч.* *bios* — жизнь и *spháira* — шар) впервые появилось в 1875 г. в работе австрийского геолога Э. Зюсса (1831—1914), но широкое распространение в науке получило после выхода в свет книги русского академика В. И. Вернадского (1863—1945), которая так и называлась — «Биосфера» (1926). «Мне суждено сказать новое в учении о живом веществе. Это учение может оказать на науку такое же влияние, как книга Дарвина», — писал Вернадский. До него понятие «биосфера» отождествлялось с «плёнкой жизни», которая ускользала от внимания учёных из-за своей ничтожности по сравнению с воздушной оболочкой (атмосферой), водной оболочкой (гидросферой) и земной корой (литосферой). Вернадский впервые доказал, что биосфера — закономерный результат развития геологических оболочек планеты.



Владимир Иванович
Вернадский

Известный русский писатель М. Пришвин восторженно оценил замечательную работу Вернадского: «Я всегда чувствовал смутно вне себя эту ритмику мирового дыхания, и потому научная книга Вернадского «Биосфера», где моя догадка передаётся как «эмпирическое обобщение», читалась мной, как в детстве авантюрный роман. И мне теперь стало гораздо смелее догадываться о творчестве так, что, может быть, эта необходимая для творчества «вечность» и есть чувство не своего человеческого, а иного, планетного времени, что, может быть, эту способность посредством внутренней ритмики соприкасаться с иными

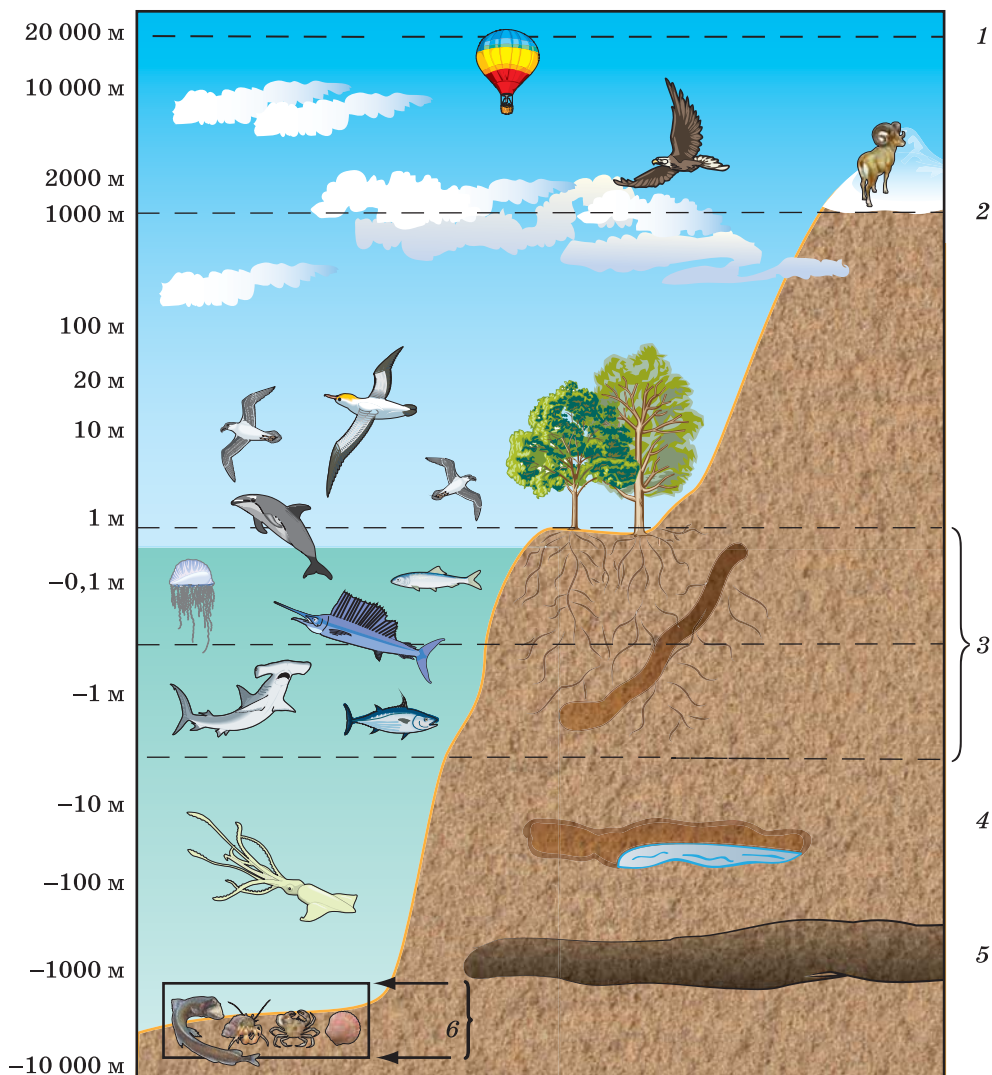


Рис. 104. Распространение организмов в биосфере: 1 — уровень озонового слоя, задерживающего жёсткое ультрафиолетовое излучение; 2 — граница снегов; 3 — почва; 4 — животные, обитающие в пещерах; 5 — бактерии в нефтяных скважинах; 6 — придонные организмы

временами, с иными сроками и следует назвать собственно творчеством».

Биосфера имеет условные границы. Живые организмы населяют всю гидросферу (например, до дна самой глубокой Марианской впадины — более 11 км), нижние слои атмосферы (до высоты около 20 км) и верхние слои литосферы (до глубины 1—2 км). Следовательно, толщина биосферы совсем небольшая по сравнению с размерами плане-



а



б



в



г

Рис. 105. Птицы, большую часть времени проводящие в воздухе: а — стриж; б — ласточка; в — буревестник; г — альбатрос

ты — всего около 30 км (рис. 104). Недаром её называют «плёнкой жизни». Верхняя граница биосферы определяется, во-первых, отсутствием кислорода, во-вторых, несовместимым с жизнью ультрафиолетовым излучением и, в-третьих, земным притяжением, которое приходится преодолевать. Красноречиво о третьем факторе говорит то, что птицы (рис. 105) и насекомые, проводящие большую часть времени в воздухе, имеют сравнительно небольшую массу, а самую большую массу имеют киты ($m \approx 30$ т) (рис. 106), живущие в морях и океанах. Действующая на них сила тяжести компенсируется выталкивающей силой воды. Но даже морские гиганты очень глубоко не опускаются из-за многократно возрастающего давления водной толщи. В глубине морей и океанов живут отдельные виды рыб и других существ, которые приспособились к таким перегрузкам и постоянной тьме. Ограничивающим фактором нижних пределов биосферы является температура: там, где она выше $+50^\circ\text{C}$ и ниже -60°C , в окружающей среде могут жить только споры, бактерии или синезелёные водоросли.

Наибольшая концентрация жизни наблюдается там, где граничит воздух, суша и вода, а также имеется благоприятная температура, — в приливно-отливных зонах и в тропических лесах. Наименьшая — там, где наиболее суровые условия для жизни: в уже упомянутых

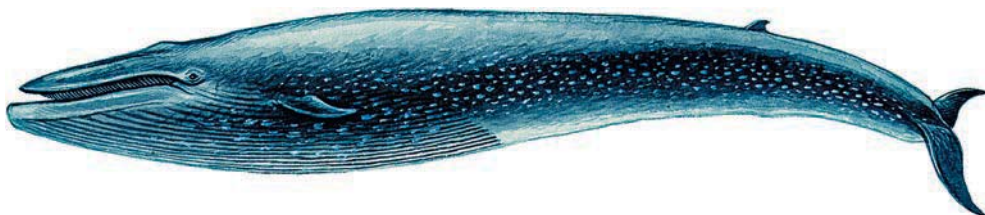


Рис. 106. Синий кит — самое большое животное на нашей планете



Рис. 107. Колония пингвинов



а



б



в



г



д



е

Рис. 108. Жизнь в пустыне: *а* — саксаул; *б* — верблюжья колючка; *в* — суслик; *г* — эфа; *д* — щитомордник; *е* — варан

морских глубинах, в зоне вечной мерзлоты (рис. 107), в пустынях (рис. 108) и на высокогорных плато.

Вернадский утверждал, что формирование биосферы явилось результатом сложного процесса эволюции нашей планеты. Биосфера Земли возникла не менее 4,5 млрд лет назад. На первых этапах эволюции атмосфера содержала мало кислорода, но в результате появления и развития растений, обладающих уникальной способностью к фотосинтезу, постепенно обогащалась кислородом. В свою очередь, это послужило важнейшим из условий для развития многих групп животных.

Взаимодействия живых организмов между собой и окружающей средой (т. е. биосферные процессы) поддерживают на Земле в равновесном состоянии газовый состав атмосферы, состав морских и пресных вод, влияют на климат и плодородие почв. Человечество же всё больше и больше вторгается в жизнь биосферы, изменяя течение процессов биологического круговорота веществ, энергии и информации.

НООСФЕРА И ГЛОБАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА. В последние годы жизни Вернадский пришёл к очень важному философскому заключению — идее перехода биосферы в **ноосферу** (от греч. *nóos* — разум и *spháira* — шар). Этот термин ввёл в науку французский философ *П. Тейяр де Шарден* (1881—1955). Он понимал под ноосферой оболочку «мыслящего пласта», который, зародившись в конце третичного периода, разворачивается с тех пор над нашей планетой вне биосферы и над ней.

Развивая учение о ноосфере, Вернадский предположил, что ноосфера по мере освоения человеком Вселенной должна превратиться в особый структурный элемент космоса, пока же она остаётся материальной оболочкой Земли, которая изменяется под влиянием человека. Человек, по мнению Вернадского, став носителем «максимально действующей энергии, сконцентрированной в биосфере», преобразует её в ноосферу, становится движущей силой её развития и превращения из геологической оболочки в космическую.



Материнства не взять у Земли,
Не отнять, как не вычерпать моря.
Кто поверил, что Землю сожгли?
Нет! Она почернела от горя.

Как разрезы, траншеи легли,
И воронки, как раны, зияют.
Обнажённые нервы Земли
Неземные страдания знают.

В. Высоцкий

Современную область взаимодействия человеческого общества с биосферой, где влияние человека оказывается определяющим, иногда называют **техносферой**. Однако человек должен чётко представлять границы допустимого вмешательства и постоянно ощущать своё неразрывное единство с биосферой.

Необходимо решать *глобальные проблемы* — наиболее важные и настоятельные общепланетарные проблемы современной эпохи, затрагивающие человечество в целом. В противном случае биосферу ждут катастрофические изменения, которые, в свою очередь, могут привести человечество к самоуничтожению.

К глобальным проблемам прежде всего относятся экологическая, энергетическая, продовольственная, демографическая.



В следующем параграфе мы поговорим о развитии органического мира и объясняющих его теориях.

Вы знаете

- ▶ что такое биосфера и какова её структура
- ▶ кто из учёных доказал, что биосфера — закономерный итог развития геологических оболочек планеты
- ▶ что такое ноосфера и техносфера

Вы можете

- ▶ объяснить, почему биосферу называют «плёнкой жизни»
- ▶ рассказать, где и почему наблюдается наибольшая и наименьшая концентрация жизни в биосфере

Выполните задания

1. Дайте определения биосферы, ноосферы, техносферы. Объясните, как эти сферы связаны с геологическими оболочками Земли — литосферой, гидросферой и атмосферой.
2. Назовите верхнюю и нижнюю границы биосферы.
3. Перечислите факторы, которые являются ограничивающими для верхних пределов биосферы. Рассмотрите их с точки зрения физики и биологии.
4. Перечислите факторы, которые являются ограничивающими для нижних пределов биосферы. Рассмотрите их с точки зрения физики, химии и биологии.

Темы для рефератов

1. Жизнь и деятельность В. И. Вернадского. 2. Научно-технический прогресс и ответственность человека за состояние биосферы. 3. Глобальные проблемы человечества и пути их решения (по выбору — одну из проблем).

§ 23. Эволюционная теория

1. Назовите имя английского учёного XIX в., создателя учения об эволюции.
2. Перечислите известные вам наследственные заболевания и назовите науку, которая занимается изучением причин их возникновения.

ПОНЯТИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ. Многообразие живых организмов на нашей планете — результат биологической эволюции.

Эволюция (от *лат.* *evolutio* — развёртывание) — это необратимое и направленное историческое развитие живой природы от возникновения жизни на Земле до современной биосферы.

Можно рассматривать эволюцию как всей биосферы, так и популяций или отдельных систематических групп и даже частей организма — органов (например, руки человека), тканей (например, нервной), систем органов (например, системы кровообращения) и даже отдельных белков (например, гемоглобина). Однако более точно процесс эволюции характеризует историческое развитие организмов, которые образуют популяцию.

Какими признаками характеризуется биологическая эволюция?

Во-первых, **преемственностью**. С момента возникновения жизни на Земле, что произошло, как считают учёные, приблизительно 4,5 млрд лет назад, непрерывная цепь поколений связывает ныне живущие и самые первые примитивные организмы.

Во-вторых, **целесообразностью**. Все организмы приспособлены к условиям своего обитания и устроены так, что могут обеспечивать не только собственное существование, но и воспроизведение потомства. При этом отдельные формы жизни приспособились к самым невероятным условиям. Например, одни микробы живут в природных озёрах, представляющих собой растворы серной кислоты, другие — в разливах нефти, третьи — в горячих гейзерах или в кратере вулкана и даже в ядерных реакторах. И наоборот, в процессе эволюции отдельные виды так приспособились к окружающей среде, что это ставит под угрозу само их существование. Например, австралийские сумчатые мишки — коалы (рис. 109, а) питаются только свежими листьями эвкалипта, а китайские панды (рис. 109, б) — молодыми побегами бамбука.

В-третьих, **усложнённостью и совершенствованием организации живых существ на протяжении геологических эпох**. Например, вначале на Земле существовали только микроорганизмы, затем появились



а



б

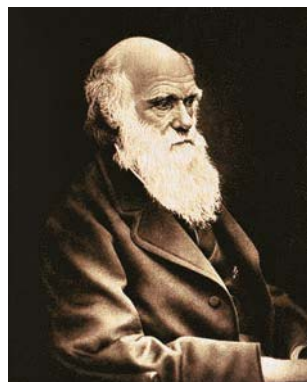
Рис. 109. Животные, узкоприспособленные к питанию: а — коала; б — панда

одноклеточные (простейшие), потом — многоклеточные беспозвоночные животные, затем пришёл черёд «веку рыб», далее — «веку амфибий», сменившемуся «веком рептилий» (в основном динозавров), и, наконец, наступил «век птиц и млекопитающих» (рис. 110).

Последние тысячелетия характеризуются господством в биосфере человека, который эволюционировал от древнейших людей — **архантропов** (питекантропа и гейдельбергского человека) через древних людей — **палеоантропов** (неандертальца) к современным людям — **неоантропам** (кроманьонцу и ныне живущему человеку; рис. 111).

Эта тенденция к усложнению и совершенствованию организации живых существ носит *относительный характер*. Например, структура бактерий не усложнялась на протяжении миллиардов лет, а у паразитов, наоборот, строение организмов даже упрощалось (например, пищеварительная система и органы чувств у червей-паразитов).

Усложнение и совершенствование организации живых существ на первый взгляд нарушает второй закон термодинамики, согласно которому все самостоятельно происходящие в природе процессы протекают в направлении разрушения структур, упрощения, увеличения доли беспорядка во всех системах. Эволюция же идёт, наоборот, в направлении усложнения. Однако второй закон термодинамики при этом не нарушается, так как в процессе эволюции происходит усложнение организмов, которое достигается значительной затратой энергии.



Чарлз Дарвин

УЧЕНИЕ Ч. ДАРВИНА ОБ ЭВОЛЮЦИИ. Современная эволюционная теория ведёт начало от теории Ч. Дарвина, изложенной в его книге

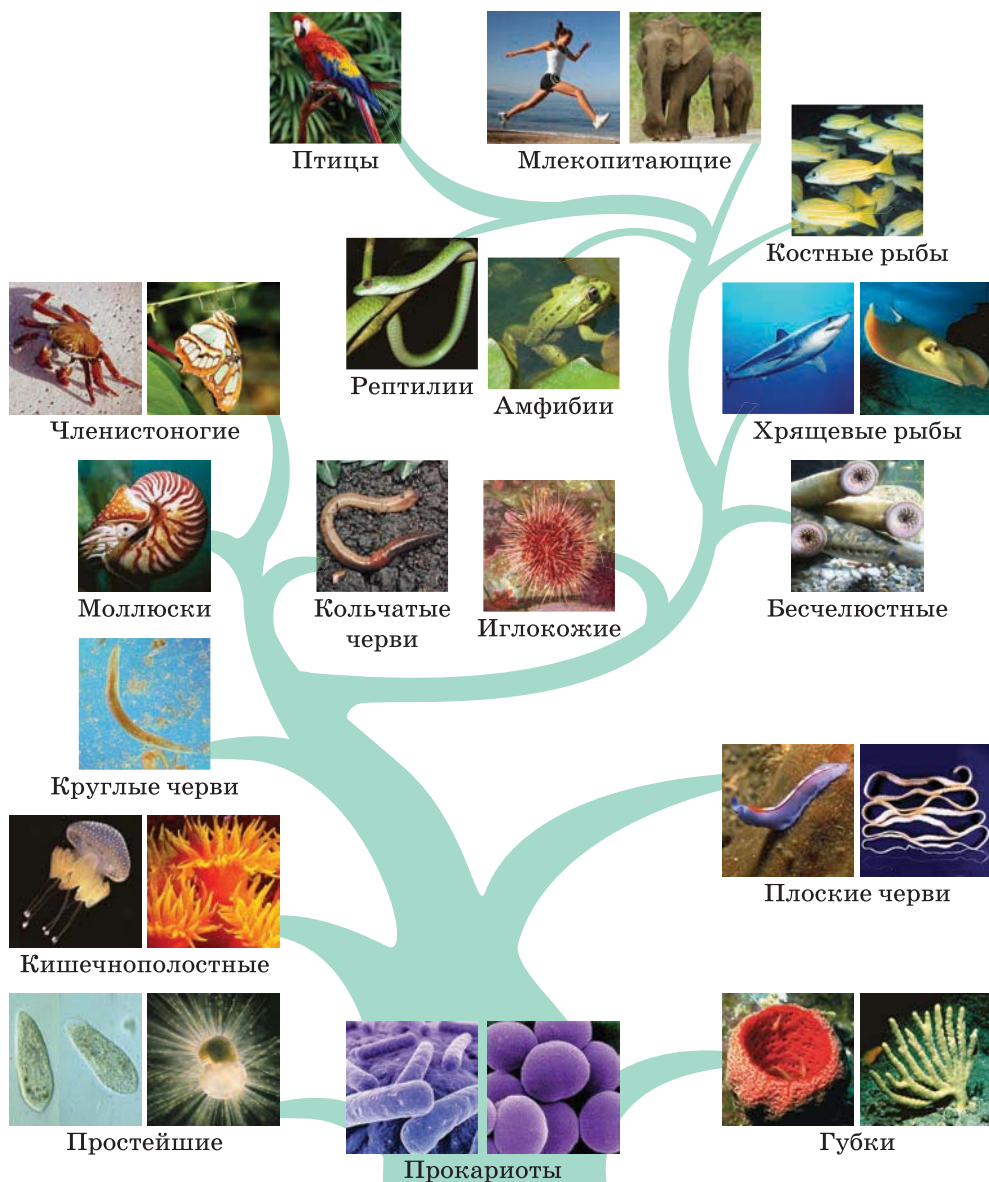


Рис. 110. Эволюционное дерево животных

«Происхождение видов». Книга была издана 24 ноября 1859 г., разошлась за один день и произвела революцию в естествознании. Логическая система **дарвинизма** состоит в том, что живые организмы характеризуются *интенсивностью размножения*, т. е. производят многочисленное потомство (например, треска мечет до 10 млн икринок). Однако *жизненные ресурсы* (территория проживания — ареал, пища,

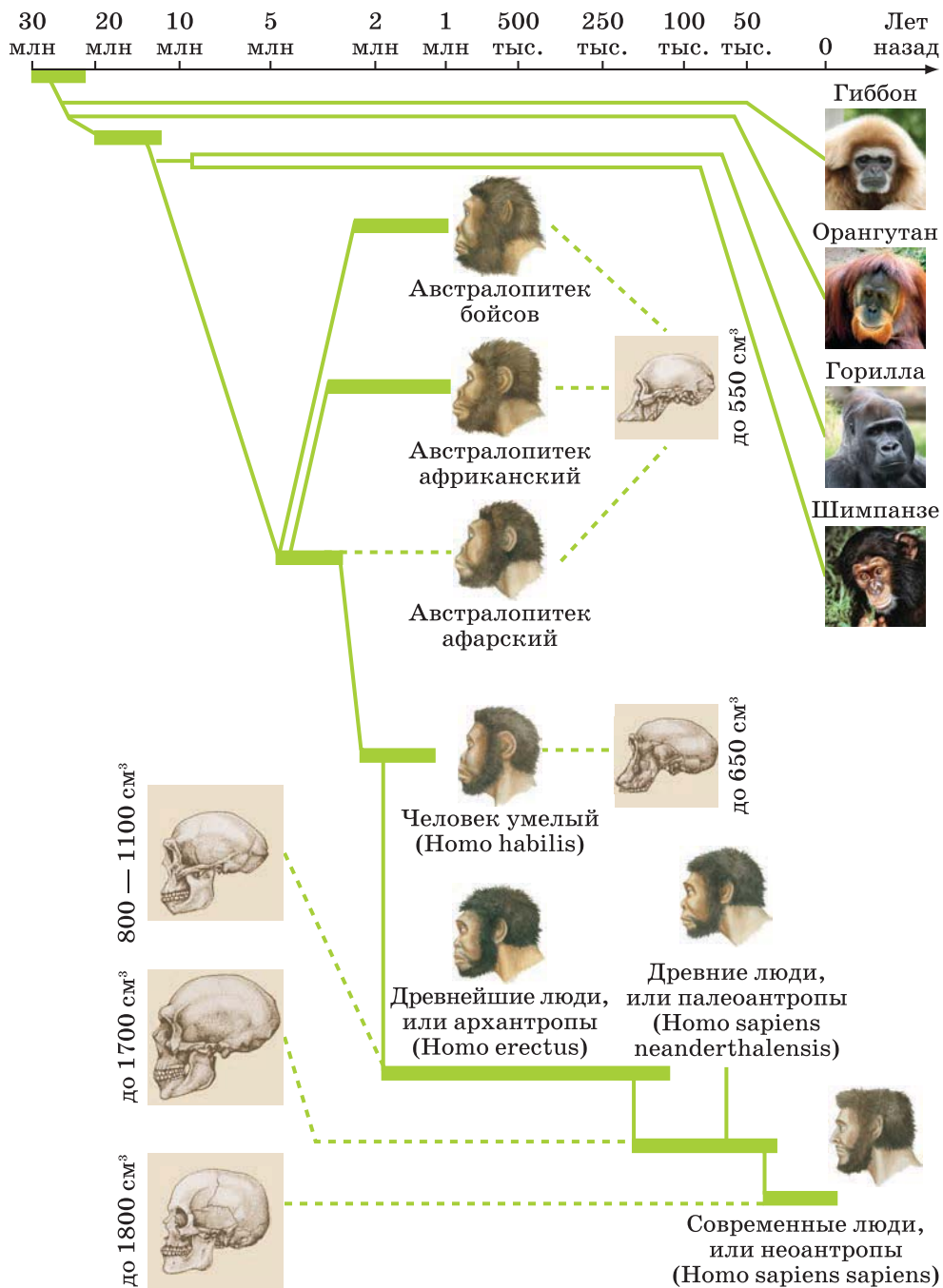


Рис. 111. Эволюционное дерево приматов и человека

места гнездований и др.), которые может предоставить окружающая среда этому потомству, очень ограничены, поэтому до половозрелого состояния доживают всего 3—4 особи. Кроме конкуренции между собой, потомки борются и с неблагоприятными климатическими условиями (засухой, холодом, ветрами), хищниками и т. п. В результате многочисленным потомкам особей одного вида приходится выдерживать жесточайшую *борьбу за существование*. При этом выживают особи, наиболее приспособленные к условиям среды обитания, способные давать плодovitое потомство. Этот процесс Дарвин назвал естественным отбором. Естественный отбор является главной движущей силой эволюции и обуславливает относительную целесообразность приспособленности организмов к окружающей среде.

Дарвинизм логично объясняет и прогрессивный характер эволюции. Ведь выживают в борьбе за существование наиболее приспособленные организмы.

Из-за чего у отдельных особей возникает эта приспособленность? По Дарвину, из-за **неопределённой изменчивости**, представляющей собой «бесконечно разнообразные незначительные особенности, которыми отличаются особи того же вида и которые невозможно объяснить унаследованием их от одного из родителей или от более отдалённых предков».

Сейчас механизм этой изменчивости хорошо изучен — в его основе лежат **мутации** (от *лат. mutatio* — изменение), т. е. изменения структуры носителя наследственности — ДНК. Очевидно, что они не могут быть приспособительными, так как причины, их вызывающие, не связаны с признаком, за который отвечает изменившийся (мутированный) ген — участок ДНК. Тем не менее некоторые случайные изменения оказываются выгодными для жизни организма в данных условиях, и он имеет большую вероятность победить в борьбе за существование.

Дальнейшее развитие эволюционного учения связано с успехами генетики и созданием **мутационной теории**. Авторами этой теории считают голландского биолога *Г. де Фриза* (1848—1935) и русского ботаника *С. И. Коржинского* (1861—1900). Мутации — это основа для естественного отбора, единственного направляющего фактора эволюции.

Генетика привела к новым представлениям об эволюции и созданию **синтетической теории эволюции**. Почему — синтетической? Дело в том, что эта теория является синтезом дарвинизма, классической генетики и экологии. Согласно этой теории, в качестве элементарной единицы эволюционного процесса рассматривается **популяция** (от *лат. populus* — население, народ).

Популяция — группа особей одного вида, которая длительное время населяет какое-либо пространство в течение многих поколений.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ЭВОЛЮЦИИ. По-знакомимся с основными положениями этой теории.

1. Естественный отбор является главным движущим фактором эволюции.

Различают три главные формы естественного отбора — движущий, стабилизирующий и разрывающий отбор.

Движущий отбор позволяет выживать особям, отличающимся по каким-либо признакам от других особей популяции и наиболее приспособившимся к изменившимся условиям внешней среды. Так, между человеком и некоторыми микроорганизмами ведётся непрерывная борьба: для подавления и уничтожения болезнетворных бактерий и вирусов требуются всё новые и новые поколения антибиотиков. Аналогичная картина наблюдается и для ядохимикатов, которые человек использует для борьбы с насекомыми. Сначала большинство микроорганизмов или насекомых гибнет, но некоторые оказываются носителями генов, обеспечивающих нечувствительность к губительным для них веществам. Они выживают и дают не реагирующее на антибиотики или ядохимикаты потомство. Приходится изобретать новые, и так до бесконечности.

Стабилизирующий отбор сохраняет в популяциях среднюю норму признака и отсеивает наиболее отклонившихся от неё особей. Такой отбор позволяет сохранять виды неизменными долгое время. О нём красноречиво свидетельствуют реликты (от *lat. relictum* — остаток), или «живые ископаемые», — виды растений и животных, сохранившихся на протяжении сотен тысяч или даже миллионов лет. Это происходит в том случае, когда среда их обитания изменяется незначительно. Например, кистепёрая рыба латимерия (рис. 112, а) обитает на глубинах в несколько сотен метров у берегов Юго-Восточной Африки уже около 300 млн лет, а ящерица гаттерия (рис. 112, б) из Новой Зеландии сохранилась в неизменном виде с мезозойской эры. Знаменитый женьшень также реликт.

И для человека стабилизирующий отбор имеет немалое значение: если вес новорождённых детей намного больше или меньше нормы (3600 г), то их смертность в среднем выше, и за такими детьми требуется особый медицинский уход.



Рис. 112. Древнейшие животные, сохранившиеся в современной фауне:
а — латимерия; б — гаттерия

Разрывающий (дизруптивный) отбор состоит в том, что исходная популяция распадается на две или несколько групп, отличающихся не только строением, но и физиологическими особенностями. Например, сенокос или летние засухи приводят к разделению видов луговых растений на раннецветущие (весной) и позднецветущие (осенью). Некоторые лососёвые рыбы образуют в озёрах две формы: мелкую, питающуюся рачками, и крупную, чьей добычей становится не только рыба, но даже утки, мыши и другие мелкие животные.

2. Исходным материалом для эволюции служат мутации. Различают:

а) *генные мутации*, которые в итоге приводят к изменению структуры гена и развитию таких заболеваний, как гемофилия, дальтонизм, серповидно-клеточная анемия и др.;

б) *хромосомные мутации*, в результате которых изменяется структура хромосом (становится другой последовательность генов, утрачиваются или меняются части хромосом, что приводит к возникновению хронического миелолейкоза, синдрома Орбели);

в) *геномные мутации*, которые заканчиваются изменением числа хромосом в ядре клетки; одним из результатов этих мутаций является *полиплоидия* — кратное увеличение числа хромосом (у растений приводит к появлению более крупных плодов и семян, а также повышению урожайности), другим — *гетероплоидия* — уменьшение или увеличение числа хромосом на одну (вызывает такие заболевания, как синдром Шерешевского—Тёрнера и болезнь Дауна).

3. Элементарной единицей эволюции является популяция. Жизнь сотен и тысяч поколений — обычное время существования отдельных популяций. Для любой популяции характерны колебания численности составляющих её особей. На это влияют различные факторы — изменение климата или количества пищи, болезни, вредители и т. п. Число особей в популяциях небольших животных (беспозвоночных, мышевидных грызунов) может изменяться от 100 до 1 млн раз. Для крупных животных размах колебаний меньше — всего в несколько раз. Эти колебания выдающийся русский биолог *С. С. Четвериков* (1880—1959) назвал «волнами жизни». Популяционные волны, или «волны жизни», — это периодические колебания численности организмов в природных популяциях (рис. 113). При росте численности наблюдается слияние ранее разобщённых популяций и объединение их генофондов. Так как популяции по своему генетическому составу уникальны, в результате их слияния возникают новые генофонды, способствующие эволюции популяций в новые виды.

4. Различают микроэволюцию, ведущую к образованию новых популяций и видов, **и макроэволюцию**, ведущую к образованию более крупных систематических групп (родов, семейств, отрядов, классов и т. д.).



Рис. 113. Популяция розовых фламинго

Микроэволюция, или эволюция популяций, вполне доступна для наблюдений. Например, непрерывно эволюционируют штаммы вирусов гриппа («птичий», «свиной» и т. д.).

Макроэволюция, или надвидовая эволюция, проявляется только по истечении длительного исторического времени.



Климат — один из факторов, существенно влияющих на численность видов и их распространение, вот о нём и пойдёт речь в следующем параграфе.

🕒 Вы знаете

- ▶ что такое биологическая эволюция
- ▶ в чём суть эволюционного учения Ч. Дарвина
- ▶ каковы основные положения синтетической теории эволюции

🕒 Вы можете

- ▶ перечислить известные вам формы естественного отбора, привести примеры каждой из них и показать их роль в природе и жизни человека, объяснить, чем естественный отбор отличается от искусственного
- ▶ дать определение мутации, назвать известные вам типы мутаций, привести их примеры и охарактеризовать роль мутаций в природе и жизни человека

- ▶ рассказать, что такое популяция и «волны жизни», охарактеризовать их роль в эволюционном процессе
- ▶ сформулировать, что такое микроэволюция и макроэволюция
- ▶ прокомментировать с позиций эволюционного учения стихотворные строки В. Высоцкого:

Эврика! Ура! Известно точно
 То, что мы потомки марсиан.
 Правда, это Дарвина пощёчина:
 Он большой сторонник обезьян.

По теории его выходило,
 Что прямой наш потомок — горилла!

В школе по программам обязательным
 Я схватил за Дарвина пять пар,
 Хохотал в лицо преподавателям
 И ходить стеснялся в зоопарк.

🎯 Выполните задания

1. Объясните, что такое эволюция и чем она отличается от революции. Назовите признаки биологической эволюции.
2. Перечислите основные этапы антропогенеза — происхождения и эволюции человека.
3. Дайте определение дарвинизма и оцените его вклад в синтетическую эволюционную теорию.
4. Расскажите, каков вклад мутационной теории эволюции в синтетическую эволюционную теорию.

🎯 Темы для рефератов

1. Сравнительная характеристика эволюционных теорий Ж.-Б. Ламарка и Ч. Дарвина.
2. Был ли предок человека обезьяной? Из истории критики дарвинизма.
3. Вклад отечественных учёных в современную эволюционную теорию.
4. Генные, хромосомные и геномные мутации.

§ 24. Климат и приспособленность живых организмов к его условиям

1. Перечислите известные вам природные зоны России.
2. Назовите жанр изобразительного искусства, в котором основным предметом изображения является природа. Работы кого из живописцев, работавших в этом жанре, вам наиболее интересны?
3. Дайте характеристику той природной зоны, где вы живёте, её климата, растительного и животного мира.

ОСОБЕННОСТИ КЛИМАТА РОССИИ. К факторам неживой природы, или абиотическим факторам, как вы уже знаете, относят климат, свет, температуру, влажность, почву и др. Все они оказывают большое влияние на распространение видов, их численность и структуру экосистем, в которых эти виды существуют. Важнейшим из абиотических факторов является климат.

Климат (греч. *klimatos* — наклон) — это многолетний режим погоды, характерный для данной местности в силу её географического положения, рельефа и ряда других климатообразующих факторов.

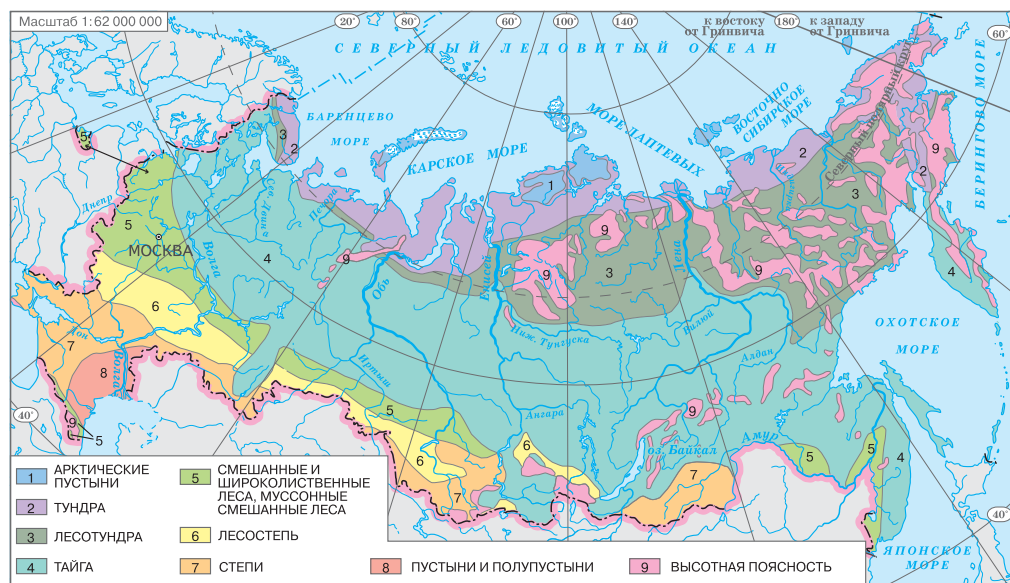


Рис. 114. Карта природных зон России

Для климата России характерны следующие особенности, которые обусловлены её географическим положением: чётко выраженная смена температурного режима по сезонам года; континентальность; разнообразие климатических зон.

Различную степень континентальности климата отдельных частей России обуславливают особенности температурного режима. Годовая амплитуда температур у северо-западных границ России составляет около 25 °С, на юге Западной Сибири — 37,5 °С, в Якутии — 65 °С, а в Петропавловске-Камчатском — всего около 20 °С.

Климат является важнейшей причиной зональности, т. е. закономерности пространственного изменения флоры и фауны на поверхности земного шара. Рассмотрим зональность, связанную с определённым соотношением тепла и влаги, на территории России (рис. 114).

ЗОНА АРКТИЧЕСКИХ ПУСТЫНЬ. Зона арктических пустынь охватывает острова Северного Ледовитого океана и северную часть полуострова Таймыр. Зима здесь долгая и суровая, а лето короткое и холодное — средняя температура июля не превышает +4 °С. Ледниками покрыто 85% территории этой зоны, температура часто опускается до –50 °С. Почвы маломощны, сверху имеют слой торфа до 3 см. Растительный покров разрежен и состоит из лишайников и, реже, мхов, а также редких цветковых растений. Животный мир беден, так как продуктивность растительного покрова невелика. Среди животных преобладают те, которые добывают пищу в море: тюлени, моржи и белые медведи, на островах обитают песцы. На скалистых берегах летом шумят птичьи базары: колонии морских птиц — гагар, чаек, чистиков, кайр, мёвков, тупиков и др. Иногда численность птиц на таких базарах достигает полумиллиона особей. Гнездование такими скоплениями позволяет обеспечить меньшую гибель яиц и птенцов от хищников. Так, чайки и крачки совместными усилиями отгоняют от гнездовий песцов и лисиц.



Рис. 115. Белый медведь

На примере яркого представителя фауны зоны арктических пустынь — белого медведя (рис. 115) рассмотрим, как он приспособлен к суровым условиям Арктики. Эти условия требуют особой выносливости, ловкости и силы. У громадного белого медведя крепкие мышцы, от холода его спасают толстый слой жира и шкура с густой тёплой шерстью, даже подошвы лап защищены мехом. Он способен плавать в ледяной воде на расстояния в десятки километров и отлично ныряет. При этом глаза оставляет открытыми, а ноздри и уш-

ные раковины сжимает. Белый медведь обладает острым зрением, тонким слухом и отличным обонянием (может учуять добычу даже сквозь толстый слой снега или за 5—7 км). Имея поразительные навигационные способности, он с невероятной точностью определяет курс следования в дрейфующих льдах. Белые медведи отлично переносят голод, если нет добычи, могут залечь в спячку, но при случае поглощают огромное количество мяса и быстро накапливают жир, который медленно расходуют. Вес старых медведей достигает тонны, молодых — 300—500 кг, длина тела — около 3 м, а высота в холке — 1,5 м. Такая масса тела позволяет белому медведю проламывать лёд, чтобы добыть тюленя или рыбу.

ЗОНА ТУНДРА. Зона тундр расположена по побережьям морей Северного Ледовитого океана и занимает около 10% территории России. Зима здесь долгая и холодная, а лето короткое и прохладное. Сильные ветры — обычное явление для этой зоны. Средняя температура июля не превышает +10 °С. Осадков выпадает очень мало — 200—300 мм в год, однако почвы в тундре переувлажнены из-за водонепроницаемости вечной мерзлоты и слабого испарения. Они маломощны, содержат мало гумуса, кислотны и обычно заболочены.

Растительность тундры составляют мхи, лишайники, многолетние и вечнозелёные кустарники (брусника, голубика, черника, толокнянка, клюква), а также многолетние травы и деревья (карликовые берёзы и ивы). Иногда встречаются грибы выше карликовых деревьев. Ветвистый зеленовато-серый лишайник, который не совсем точно называют оленьим мхом, образует сплошной покров. Весной радуют глаз первоцветы и полярные маки. Все растения имеют характерные формы и свойства, позволяющие существовать в условиях сурового климата. Господствуют стланниковые и подушковидные растения, форма которых помогает использовать тепло почвенной поверхности и переносить сильный ветер. В связи с тем, что лето очень короткое и вегетативный сезон ограничен, большинство растений являются многолетними и даже вечнозелёными, например брусника и клюква.

Животный мир представлен лишь немногими видами, которые приспособились к существованию в суровых зимних условиях. Это лемминги, песец, северный олень, заяц-беляк, волк, а также белая сова, зуёк (рис. 116) и тундровая куропатка. Летом появляется огромное количество перелётных птиц: гусей, уток, куликов, лебедей и гагар. Обилие



Рис. 116. Малый зуёк у гнезда



Рис. 117. Северный олень

пищи в виде ягод, мошек и комаров создаёт им благоприятные условия для выведения птенцов.

Северный олень (рис. 117) хорошо приспособлен к условиям обитания. Его шерсть обладает интересной особенностью: каждый её волосок пустотелый и наполнен воздухом, что позволяет оленям хорошо переносить сильные морозы. Благодаря широким, особого строения копытам олень легко передвигается по снегу, а также раскапывает его, чтобы добраться до ягеля. Летом,

спасаясь от мошки и оводов, они выходят на побережье, где дуют открытые ветры. Зимой мигрируют в леса, так как снег здесь рыхлый и из-под него легко добывать лишайники.

ЗОНА ЛЕСОТУНДР. Образует узкую полосу вдоль южной границы зоны тундр. В лесотундре значительно теплее, чем в тундре. Годовая сумма осадков достигает 400 мм, что намного превышает испарение, а потому лесотундра характеризуется сильной заболоченностью.

По долинам рек тянутся полосы леса из низкорослых кривых берёз, елей и лиственниц, на междуречьях — редколесье и тундровые кустарники. Здесь обитают животные как тундры, так и лесов: лоси, бурые медведи, белки, зайцы-беляки, волки, глухари и рябчики.

Волк — хищник, который чувствует себя прекрасно даже в нелёгких для выживания условиях лесотундры. Это сильный и выносливый зверь. Длина его тела достигает 1,5 м, а высота — 1 м, весит он 30—50 кг, крупные самцы — до 80 кг. Бегают волки быстро, развивая скорость до 60 км/ч, и на дальние расстояния (за ночь способны преодолеть 80 км). Недаром есть пословица: «Волка ноги кормят». Могут долго голодать — до двух-трёх недель. Живут семьями. Ради безопасности волчат они никогда не охотятся рядом с логовом, а уходят от него за много километров. Волки — хищники со сложным поведением, во время охоты у них существует своеобразное разделение труда: одни гонят добычу, а другие караулят её в засаде.

ЗОНА ТАЙГИ. Это самая большая по площади природная зона России. Тайга протянулась широкой полосой от западных границ страны до побережья Тихого океана. Для этой зоны характерна холодная зима с обилием снега и умеренно тёплое лето. Средняя температура июля составляет +18 °С. Количество осадков (300—900 мм в год) несколько

превышает испарение. Почвы подзолистые, имеют маломощный гумусовый слой и кислую среду.

Основу растительности тайги составляют хвойные леса: в европейской части — еловые, в Западной Сибири — еловые и пихтовые с примесью кедра, а на песчаных почвах — сосновые. К востоку от Енисея, где распространена вечная мерзлота, царствует лиственница. Большие площади занимают болота и луга.

Животный мир тайги богат и разнообразен. Здесь живут растительноядные — лось, белка, бурундук, заяц-беляк, а также хищники — бурый медведь, волк, рысь, россомаха, соболь, куница, лисица, горноста́й. Из птиц распространены кедровка, клёст, глухарь, рябчик.

Соболь (рис. 118) — типичный представитель этой зоны. Его с полным правом можно назвать жемчужиной сибирской тайги и национальной гордостью России. Имеет гибкое вытянутое тело, длина которого достигает 50 см, вес животного 800—1500 г. Этот хищник отважен и ловок. Хорошо лазает по деревьям, но предпочитает передвигаться по земле, пробегая за сутки много километров, что позволяет ему удачно охотиться. Может, как кошка, караулить в засаде мышь, подкрадываться к сидящим в снегу тетеревам или упорно преследовать по рыхлому снегу кабаргу, пока она не выбьется из сил. Основная его пища — мелкие грызуны, но он может поймать рыбу в ручьях и белку на дереве. Охотно ест кедровые орехи, ягоды брусники и черники.



Рис. 118. Соболь

В светлом инее берёзы.
Злы в Сибири холода!
Речка скрылась от мороза
Под тяжёлый панцирь льда.

Кедры в белых рукавицах
Молчаливо-высоки...
Жадно нюхает лисица
Деревенские дымки...

На сугробах птичий росчерк,
Ель припудрена снежком,
Дятел, греясь, как извозчик,
О крыло стучит крылом...

Завалил берлогу свежий
Снег. Мороз трещит окрест...
Спит в своей дохе медвежьей
Сам «хозяин» здешних мест...

Э. Асадов

ЗОНА СМЕШАННЫХ И ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСОВ. Зона смешанных и широколиственных лесов расположена на юго-западе Восточно-Европейской равнины и в южной части Дальнего Востока. По сравнению с тайгой лето здесь более тёплое и продолжительное, а зима мягкая, с частыми оттепелями. Годовая сумма осадков достигает 600—700 мм.



Рис. 119.
И. И. Левитан.
Осень. 1889 г.

На Восточно-Европейской равнине в зоне лесов дерново-подзолистые почвы, на Дальнем Востоке — бурые, лесные.

На территории этой зоны произрастают смешанные хвойно-широколиственные леса (сосна, ель, а также липа, дуб, клён, берёза; рис. 119). В подлеске много жимолости, орешника, крушины, калины.

В южной части зоны распространены широколиственные леса, которые в основном состоят из дуба, вяза, клёна, граба, липы, бука. Здесь обитают косули, куницы, норки, бобры, бурый медведь, лось, волк, заяц, олень, разнообразные птицы. Некоторые виды сохранились лишь в заповедниках, например зубр.



Рис. 120.
А. С. Степанов.
Лоси. 1889 г.

Наиболее характерный представитель этих лесов — лось (рис. 120). Длина тела самцов достигает 3 м, высота в холке — 2,3 м, весят они 250—570 кг. Покровы грубой шерстью, животные хорошо приспособлены к суровым морозным и снежным зимам. Кормятся травами, древесно-кустарниковыми растениями, лишайниками и грибами. За сутки лось может съесть до 35 кг корма, а зимой всего 12—15 кг. неприхотливость в пище позволяет ему выжить и хорошо себя чувствовать в наших лесах. Для лосей, особенно молодых, опасны волки и медведи, однако взрослые сильные животные могут за себя постоять: их копыта — грозное оружие.

На Дальнем Востоке произрастают широколиственные леса, в которых наряду с сибирскими видами деревьев есть характерные для соседних стран, Китая и Кореи, бархатное дерево, пробковый дуб, корейский кедр, лимонник. Из редких животных этих лесов можно назвать уссурийского тигра, пятнистого оленя, гималайского медведя и утку-мандаринку.

Шуми, шуми, зелёный лес!
Знаком мне шум твой величавый,
И твой покой, и блеск небес
Над головой твоей кудрявой.

И. Никитин

ЛЕСОСТЕПНАЯ ЗОНА. Лесостепная зона протянулась широкой полосой от западных границ России до Алтая и Саян. Средняя температура июля составляет +20 °С. На севере зоны количество осадков (560 мм в год) примерно равно испарению, на юге испарение выше, поэтому здесь обычны засухи. Климат зоны неустойчив — влажные годы сменяются засушливыми.

На протяжении всей зоны лесные массивы чередуются с разнотравными степями. Почвы в лесах серые, а в степях — чернозёмы. На Восточно-Европейской равнине преобладают дубравы с примесью клёна, ясеня и липы, на Западно-Сибирской равнине — берёза и осина, в Восточной Сибири — сосна и лиственница.

В лесах обитают обычные для них звери и птицы, в степях встречаются суслики, зайцы-русаки и реже — сурки, хомяки, совсем редко — дрофы. И в лесах, и в степях водятся волки и лисы.



Рис. 121. А. Дюрер. Молодой заяц. 1502 г.

Один из самых характерных представителей лесостепной зоны — заяц-русак (рис. 121). Как и беляк, он летом буро-серого цвета. Однако, если к зиме беляк резко меняет окраску на белую, то русак лишь немного светлеет. Врагов у зайцев множество — лисицы, волки, филины, ястребы-тетеревятники и т. д. Поэтому зайцы, спасаясь от преследования, искусно запутывают свои следы. Врождённая осторожность заставляет их петлять — бегать взад и вперёд, а потом прыгать далеко в сторону, перед тем как залечь на отдых или ночёвку. От погони зайцы уходят кругами, совершая большие прыжки при помощи сильных задних лап. Высокая плодовитость зайцев тоже объясняется необходимостью выживания. Так, зайчиха приносит 3—4 помёта в год, от 3 до 10 детёнышей в каждом. После рождения детёнышей зайчиха, покормив, покидает их на 2—3 дня. Зайчата всё это время сидят неподвижно, что спасает их от хищников. Ещё 3—4 раза их покормит собственная мать или другая зайчиха. А через полторы-две недели зайчата начинают самостоятельно кормиться растениями.



Степь широко на просторе
Поперёк и вдоль лежит,
Словно огненное море,
Зноем пышет и палит.

Цепенеет воздух сжатый,
Не пахнёт на душный день
С неба ветерок крылатый,
Ни прохладной тучки тень.

Небеса, как купол медный,
Раскалились. Степь гола;
Кое-где пред хатой бедной
Сохнет бедная ветла.

П. Вяземский

ЗОНА СТЕПЕЙ. Зона степей находится в Западной Сибири и занимает юг европейской части России.

В степной зоне (рис. 122) ярко выражены черты засушливого климата. Лето здесь жаркое (температура в июле вы-



Рис. 122.
А. И. Куинджи.
Степь. 1875 г.

ше +22 °С), а зимы холодные (–20 °С) и малоснежные. Годовая сумма осадков не превышает 350—400 мм в год, что почти в 3 раза меньше испарения. Почвы чернозёмные и каштановые, встречаются и засолённые.

Типичные для степи растения — дерновинные злаки с узкими листьями: ковыль, типчак, тонконог. Всегда присутствует разнотравье. На крайнем юге дерновинно-злаковые степи сменяются полынными.

Многие животные образуют большие колонии (суслики, сурки, хомяки, полёвки и другие грызуны) или стада (антилопы). Встречаются лисица и волк. Из птиц наиболее распространены жаворонки, степные куропатки, орлы, дрофы, пустельга.

Типичные обитатели степей — грызуны. Они предпочитают растительную пищу, а потому имеют хорошо развитые резцы, которые растут всю жизнь и благодаря разной толщине эмали способны самозатачиваться. Наиболее яркой чертой приспособленности грызунов к выживанию является интенсивное размножение. Уже в 2—3 месяца они приносят по 6—8 помётов в год, и в каждом — от 8 до 15 детёнышей. Выживанию грызунов помогает и их способность впадать в спячку (зимнюю и летнюю), а также делать запасы. Один только серый хомяк запасает на зиму 800 г зерна.

ЗОНА ПОЛУПУСТЫНЬ. Зона полупустынь расположена на Прикаспийской низменности. Климат здесь резко континентальный, сухой. Средняя температура июля достигает +25 °С, а январская опускается до –15°С. Годовая сумма осадков не превышает 250 мм в год. В полупустынях распространена полынно-злаковая растительность, но покров клочковатый: между дернинами растений находятся участки голой почвы. Почвы здесь каштановые, богатые солью, поэтому встречаются солонцы и солончаки (рис. 123). Основные животные — грызуны: суслики, тушканчики (рис. 124). Типичные копытные животные полупустынь — сайгак, джейран.



Рис. 123. Солончак



Рис. 124. Тушканчик

Остановимся на приспособленности к условиям полупустынь такого их обитателя, как тушканчик. Его облик, развитие внутренних и внешних органов прекрасно соответствуют условиям окружающей среды. Эти небольшие ночные обитатели полупустынь и пустынь скачут на задних лапках, подобно кенгуру, — так легче двигаться, учитывая особенности рельефа. Большие глаза, длинные усы и огромные уши помогают им прекрасно ориентироваться в темноте. Тушканчики никогда не пьют и довольствуются водой, поступающей вместе с пищей.

ЗОНА ПУСТЫНЬ. Зона пустынь занимает юг Прикаспийской низменности.

Лето здесь длинное и очень жаркое, а зима короткая и нехолодная. Средняя температура июля — около $+30^{\circ}\text{C}$, но часто достигает и $+50^{\circ}\text{C}$.

В пустыне чахлой и скупой,
На почве, зноем раскаленной,
Анчар, как грозный часовой,
Стоит — один во всей вселенной.

А. Пушкин

Годовая сумма осадков в зоне пустынь составляет 150—200 мм в год, а испаряемость в 10—12 раз превышает осадки.

На севере зоны пустынь (рис. 125) — песчаные почвы, которые часто засолены. Повсеместно распространены

такыры — глинистые почвы, которые летом покрываются растрескавшейся коркой. Такыры практически лишены растительности, наиболее типичны здесь полыни и солянки. На песках живут растения с мощными корневищами и придаточными корнями, которые укрепляют их в сыпучем грунте и всасывают влагу из глубины почвы. Например, саксаул — корявое безлистное дерево, имеет корни длиной до 20 м, как и зелёное лакомство верблюдов — верблюжья колючка (рис. 126).

Для пустынь характерны *эфемеры* — растения, которые за короткое время проходят полный цикл развития. Например, мятлик луковичный вместо семян сразу прорастивает в колосках готовые сеянцы.



Рис. 125. Пустыня

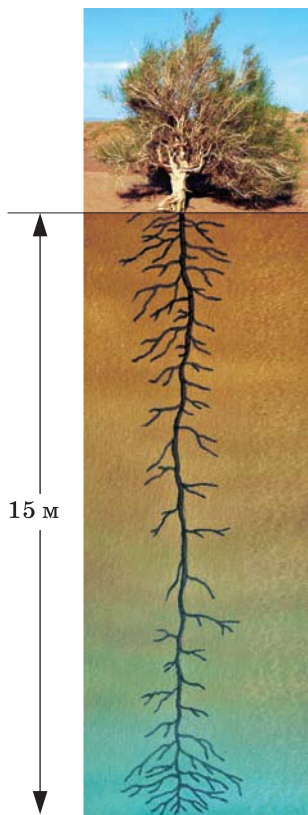


Рис. 126. Корневая система верблюжьей колючки



Рис. 127. Ящерица ушастая круглоголовка

Многие животные пустынь могут долго обходиться без пищи и воды (верблюды) или довольствоваться той влагой, которая поступает с пищей (тушканчики, змеи, ящерицы, скорпионы). Большинство ведут ночной образ жизни или впадают в спячку.

Пустыня — царство пресмыкающихся: змей и ящериц (рис. 127). Они прекрасно приспособлены к местным условиям жизни. Их кожа покрыта роговыми чешуйками или щитками, которые предохраняют её от высыхания. Питаются змеи в основном грызунами, а ящерицы — насекомыми. Это активные и ловкие охотники: ящерицам помогают слух и зрение, а змеям — осязание и специальный орган, улавливающий исходящее от добычи тепло. Челюсти змей соединены подвижно,

а поэтому они могут заглатывать жертву, натягивая ротовой аппарат, подобно тому, как мы натягиваем носок на ногу. Размножаются змеи, откладывая яйца в песок, чтобы предохранить их от резкого перепада температуры. У яиц плотные, но мягкие и эластичные оболочки, предохраняющие их от высыхания. Напомним удивительную способность ящериц в случае опасности отбрасывать хвост, чтобы спасти свою жизнь.



В следующем параграфе вы узнаете о природе и свойствах света, его влиянии на живые организмы.

Вы знаете

- ▶ каковы особенности климата России
- ▶ какие природные зоны существуют на территории нашей страны

- ▶ что представляют собой и где расположены зоны арктических пустынь, тундр, лесотундр, тайги, смешанных и широколиственных лесов, лесостепей, степей, полупустынь и пустынь

Вы можете

- ▶ дать определение климата и доказать, что он является важнейшей причиной природной зональности
- ▶ дать краткую характеристику каждой из природных зон России
- ▶ перечислить представителей флоры и фауны конкретных природных зон России

Выполните задания

1. Объясните, как растения и животные той или иной природной зоны приспособились к условиям жизни (на примере зоны арктических пустынь и зоны пустынь).
2. Расскажите о наиболее ярких представителях лесов Дальнего Востока.
3. Охарактеризуйте климат каждой природной зоны, укажите средние значения температур лета и зимы.
4. Перечислите, какие почвы характеризуют каждую из природных зон.

Темы для рефератов

1. Широтная и вертикальная зональность: сходство и различие. 2. Наиболее характерный представитель одной из природных зон (по выбору). 3. Тайга — лёгкие нашей планеты. 4. Образы животных наших природных зон в искусстве и фольклоре.

§ 25. Свет и приспособленность к нему живых организмов. Электромагнитная природа света

1. Вспомните, что вам известно о распространении, отражении и преломлении света.
2. Расскажите, какое влияние свет оказывает на живые организмы.
3. Объясните наличие огромных глаз у глубоководных рыб и слабое зрение или его отсутствие у кротов.

ИЗ ИСТОРИИ ОПТИКИ. Вопрос, что представляет собой свет и каковы его свойства, волновал учёных ещё в глубокой древности. Учение о свете развивалось таким образом, что ряд законов, которым подчиняются

световые явления, был установлен раньше, чем стало понятно, какова же природа света. К таким законам относятся законы прямолинейного распространения, отражения, преломления, полного внутреннего отражения света, которые вы изучали в основной школе.

В XVII в. итальянский учёный *Ф. Гримальди* (1618—1663), проведя серию опытов, обнаружил, что свет отклоняется от прямолинейного пути и при определённых условиях это отклонение можно наблюдать. Данное явление он назвал **дифракцией** и объяснил её на основе волновой теории, используя аналогию с распространением волн на поверхности воды.



Христиан Гюйгенс

В дальнейшем английский физик *Р. Гук* (1635—1703) объяснил наличие разных цветов сложением колебательных движений частиц среды. Решающий шаг в обосновании волновой теории света был сделан голландским учёным *Х. Гюйгенсом* (1629—1695), который ввёл волновой принцип, позволивший объяснить явления отражения и преломления света и вывести соответствующие законы. Он полагал, что свет распространяется так же, как и звук, — в виде волны в упругой среде.

Волновые представления о свете в XVIII—XIX вв. получили развитие в работах английского учёного *Т. Юнга* (1773—1829) и французского физика *О. Ж. Френеля* (1788—1827), которые, разделяя идеи Гюйгенса о характере распространения света, полагали, что цвет зависит от частоты колебаний среды. Юнг ввёл понятие **интерференции**, объяснил его и сформулировал условия интерференции. А Френель объяснил явление дифракции и построил теорию этого явления.

Параллельно с **волновой теорией света** существовала **корпускулярная теория**, которой придерживался Ньютон. Он полагал, что светящиеся тела испускают поток маленьких частиц (корпускул), которые движутся с определённой скоростью. При переходе света из одной среды в другую скорость изменяется. В то же время Ньютон не отвергал полностью волновую теорию, пытаясь объяснить некоторые явления с её позиций.

В конце XIX в. выяснилось, что волновая теория света не может объяснить происхождение линейчатых спектров, характер излучения тел, экспериментально установленные законы фотоэффекта. Эта проблема была решена благодаря работам немецких физиков *М. Планка* (1858—1947) и *А. Эйнштейна*. По их мнению, свет представляет собой поток частиц — фотонов, обладающих энергией и импульсом. Планк и Эйнштейн объяснили и законы фотоэффекта, и происхождение линейчатых спектров, полагая, что в процессе взаимодействия света с веществом энергия и импульс порциями передаются веществу.

Важно, что в современной физике представление о свете как о потоке частиц не противоречит представлению о нём как о волне. В частности, явления интерференции и дифракции хорошо объясняются на основе волновой теории. Это свидетельствует о том, что свет обладает двойственностью свойств, называемой **корпускулярно-волновым дуализмом**.

Огромное значение в понимании природы света сыграли работы английского физика Дж. Максвелла, создавшего теорию электромагнитного поля и показавшего, что свет — электромагнитная волна и подобно всем электромагнитным волнам может распространяться в вакууме. Максвелл вычислил скорость распространения электромагнитных волн. В вакууме она равна 300 000 км/с.

ДИСПЕРСИЯ СВЕТОВЫХ ВОЛН. Если на трёхгранную призму направить пучок белого света, то на экране можно отчётливо увидеть спектр, состоящий, как вы знаете, из семи цветов (рис. 128). Это происходит потому, что белый свет сложный и состоит из простых цветов, которые по-разному преломляются призмой.

Вы знаете, что угол преломления света зависит от показателя преломления среды. Разложение белого света в спектр означает, что свет разного цвета имеет различный угол преломления, т. е. различный *показатель преломления*.

Возникает вопрос, чем различаются физические характеристики световых волн, «имеющих разный цвет». Оказалось, что у них разная частота. Так, частота волн красного цвета лежит в диапазоне $385 \cdot 10^9$ — $484 \cdot 10^9$ Гц, а частота волн фиолетового цвета — $667 \cdot 10^9$ — $789 \cdot 10^9$ Гц.

Следовательно, показатель преломления волн зависит от их частоты.

Дисперсия света — это зависимость показателя преломления среды от частоты света.

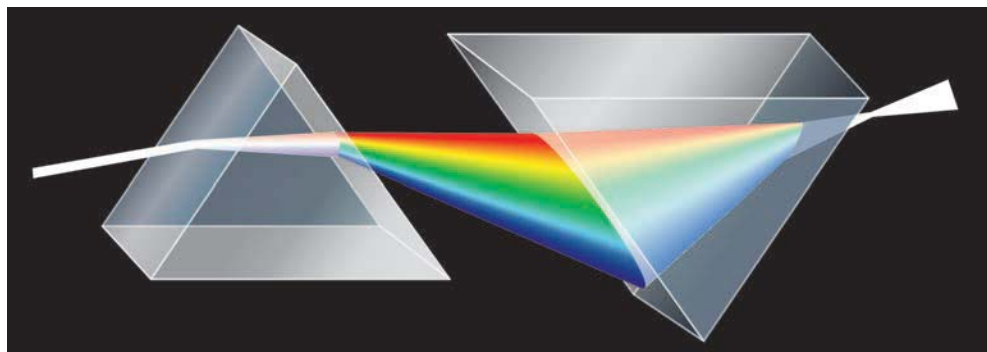


Рис. 128. Разложение и синтез белого света



Рис. 129.
К. А. Сомов.
Радуга. 1897 г.

Дисперсией объясняется радуга (рис. 129). Иногда в солнечный день можно наблюдать дисперсию и при преломлении света в капле воды.

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ СВЕТОВЫХ ВОЛН. Для световых волн, так же как и для механических, характерно явление интерференции.

Интерференция — это сложение двух (или нескольких) волн, в результате которого наблюдается устойчивое во времени усиление или ослабление амплитуды результирующих колебаний в различных точках пространства.

Понять причину интерференции можно, если вообразить, что в каждой точке пространства происходит сложение колебаний. Если представить себе волны на поверхности воды, то они будут усиливаться в тех точках, в которые приходят их гребни, а ослабляться — если гребень одной волны встречается с впадиной другой волны. Отсюда следует, что интерференцию можно наблюдать тогда, когда колебания имеют одинаковую частоту и расположение источников волн друг относительно друга со временем не меняется. Такие колебания называют **когерентными**.

Интерференцию света вы можете наблюдать в тонком слое бензина, покрывающего лужу, а также в мыльных пузырях (рис. 130).

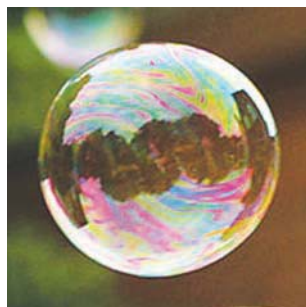


Рис. 130. Интерференция в мыльной плёнке

Лабораторный опыт

Внесите в пламя спиртовки комочек ваты, смоченный раствором поваренной соли. Затем жёлтое пламя спиртовки рассмотрите сквозь мыльную плёнку, которую вы получите, если опустите проволочное кольцо в раствор мыла. Что наблюдаете? Зарисуйте интерференционную картинку, полученную на плёнке.

ДИФРАКЦИЯ СВЕТОВЫХ ВОЛН. Если на пути светового пучка поставить тонкую нить, свет уже не будет распространяться прямолинейно, он будет огибать эту нить, заходить за неё, на экране мы увидим дифракционную картину — чередование светлых и тёмных полос (рис. 131, а).

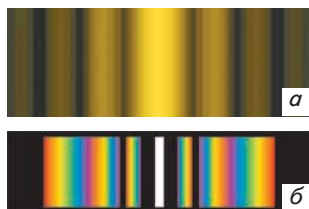


Рис. 131. Дифракция на нити (а); на щели (б)

Дифракционную картину можно наблюдать и при освещении очень узкой щели, границы которой будет огибать свет. Каждая точка границы щели (как и в случае нити) становится источником волн, имеющих одинаковую частоту. Эти волны называют вторичными. Вторичные волны, встречаясь в разных точках пространства и складываясь, либо взаимно усиливаются, либо ослабляются, поэтому и получается чередование тёмных и светлых (или окрашенных) (рис. 131, б) областей. Описанное явление, как вам известно, называется **дифракцией**.

Таким образом, для световых волн, так же как и для волн любой другой природы, при определённых условиях наблюдаются явления интерференции и дифракции.

Лабораторный опыт

Установите штангенциркуль на 0,05 мм. Сквозь образовавшуюся щель рассмотрите нить горящей лампы накаливания. Что наблюдаете? Зарисуйте дифракционную картину. Повторите опыт для ширины щели в 0,5 мм. Зарисуйте и эту дифракционную картину.

Итак, свет — это электромагнитные волны. Шкала электромагнитных волн выглядит следующим образом (рис. 132).

Каждая часть спектра в той или иной мере влияет на живые организмы, однако наибольшее значение имеют волны видимого света и его ближайшие соседи — инфракрасные волны и ультрафиолетовые лучи.

Инфракрасные волны излучают все тела, температура которых выше 0 °К, и мы их охарактеризуем в следующем параграфе.

Основным источником *ультрафиолетового излучения* является Солнце. Наиболее губительно для всего живого излучение, лежащее

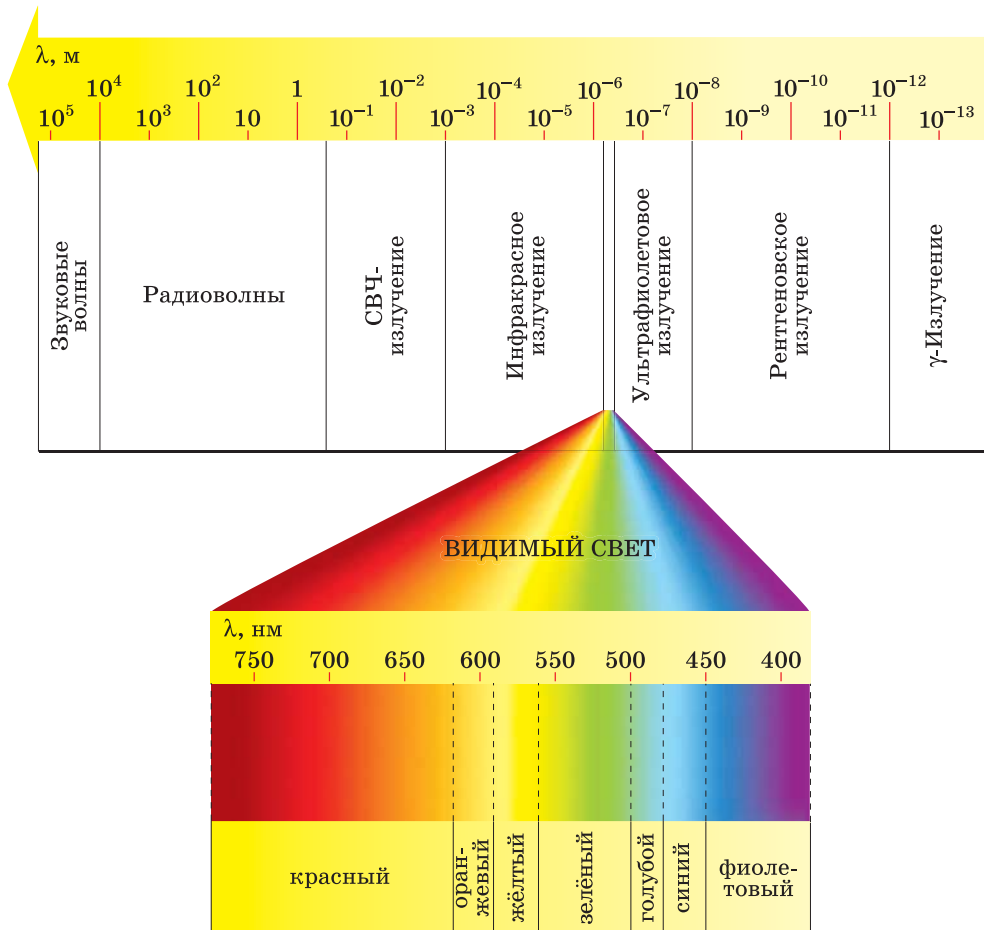


Рис. 132. Шкала электромагнитных волн

в диапазоне 200—280 нм, к счастью, оно поглощается озоновым щитом, который расположен в верхних слоях атмосферы. Поэтому живые организмы распространены до этого озонового щита-экрана. В малых дозах прошедшие через атмосферу ультрафиолетовые лучи полезны животным и человеку, так как под их действием в коже вырабатывается витамин D.

Свет *видимой части спектра* необходим как растениям, так и животным. Для растений это — основа фотосинтеза.

Реакция живых организмов на суточную смену освещённости (день и ночь) называется **фотопериодизмом**. Это важнейший фактор, запускающий биологические часы живых существ — **суточные** и **сезонные биоритмы**. Так, укорачивающийся день даже очень тёплой осенью — это точная информация о приближении зимы. У растений тормозится рост, начинается листопад, переход к состоянию покоя. Птицы гото-



Рис. 133.
И. И. Шишкин.
Дубовая роща.
1887 г.

ваться к перелёту, а звери накапливают подкожный слой жира перед тем, как впасть в спячку, или собирают припасы на зиму — орехи, семена, грибы и т. д. Наоборот, удлиняющийся день сообщает всему живому о приближении весны.

Длительность светового периода влияет, например, на зацветание растений. У животных своя реакция на фотопериодизм: осенняя и весенняя линьки, зимняя спячка, сезонная миграция и т. п.

По отношению к степени освещённости различают *светолюбивые* и *теневыносливые* растения.



Рис. 134. И. И. Шишкин. Берёзовая роща. 1896 г.

К светолюбивым относятся степные и луговые травы, многие деревья (сосна, дуб, берёза; рис. 133, 134); к теневыносливым — например, ель. Еловые леса всегда мрачные и тёмные по сравнению с сосновыми и широколиственными. К теневыносливым относятся и те растения, которые живут в нижнем ярусе леса, — ландыши (рис. 135), кислица, мхи, папоротники. Следовательно, способность к существованию в различном световом режиме определяет ярусность растительных сообществ (рис. 136).

Кроме этого, адаптация растений к максимальному использованию солнечной энергии для фо-



Рис. 135. Ландыш майский



Рис. 136. Яркость леса

тосинтеза проявляется в пространственной ориентации их листьев. Для деревьев и кустарников характерно такое взаимное расположение листьев, чтобы по возможности они не затеняли друг друга, — *листовая мозаика*. И не только. При вертикальном расположении листьев у злаков и осок солнечный свет полнее поглощается в утренние и вечерние часы. При горизонтальной ориентации листьев теневыносливые растения полнее используют лучи солнца в дневное время. При расположении листьев в разных плоскостях, как у кукурузы, солнечный свет усваивается в процессе фотосинтеза на протяжении всего дня. Аналогично ведёт себя и подсолнечник (рис. 137), поворачивая в течение дня свою золотую головку — корзинку — вслед за движением солнца.

Видимая часть светового спектра очень важна для ориентации животных в пространстве с помощью зрения.

Впервые отдельные светочувствительные клетки появились у кишечнополостных животных. Вам, вероятно, хорошо знаком их представитель — гидра. У медуз (рис. 138) такие клетки находятся на щупальцах и по краю купола. У моллюсков, кроме таких светочувствительных рецепторов, глаз имеет простейший опти-



Рис. 137. В. Ван Гог. Ваза с двенадцатью подсолнухами. 1888 г.

ческий аппарат, который преломляет поток световых лучей, делая изображение более чётким. У насекомых — мозаичное зрение, которое обеспечивают фасеточные глаза (рис. 139), состоящие из нескольких тысяч отдельных световоспринимающих ячеек. Своё название такое зрение получило потому, что глаза насекомых дают не целостное изображение, а мозаику из тысячи изображений, полученных каждым отдельным элементом (фасетом) сложного глаза. У позвоночных и особенно у человека развиты глаза камерного устройства. Такое устройство глаза позволяет более чётко и детально рассматривать объекты, фокусируя зрение. Воспринимает объект рецепторная часть глаза, которая называется сетчаткой. Сетчатка позвоночных имеет сложное строение. Один из её слоёв состоит из фоторецепторов — палочек и колбочек. Палочки обладают большей чувствительностью. Теоретически благодаря им человек ночью может увидеть горящую свечу на расстоянии до 200 км! Чёрно-белое зрение развито у животных, ведущих ночной образ жизни (сов, кошек). Колбочки обеспечивают цветное зрение. Они хорошо функционируют при дневном свете и потому развиты у животных, ведущих дневной образ жизни (кур, копытных).

Многие животные обладают острым зрением. Так, грифы или орлы, поднимаясь на такую высоту, что их почти не заметно с земли, прекрасно видят небольшую добычу, например мышь или змею.

У глубоководных рыб — огромные глаза, занимающие половину головы и большой хрусталик, фиксирующий любые признаки не только света, но и тени. Однако многие из них полностью лишены зрения, так как имеют хорошо развитую боковую линию — чувствительный орган у рыб, воспринимающий движение и вибрации окружающей воды, используемый для ориентации и для охоты.

Животные могут и сами вырабатывать свет, т. е. способны к **биолюминесценции**. Среди сухопутных животных мало светящихся, напри-



Рис. 138. Сцифомедуза



Рис. 139. Фасеточные глаза насекомого



Рис. 140. Аурелии — светящиеся медузы

мер, жуки-светляки светятся в темноте и таким образом опознают себе подобных. Гораздо больше светящихся представителей (рис. 140) находится в глубинах морей и океанов, куда не доходит солнечный свет. Особенно много светящихся рыб, у которых огоньки (бактерии-симбионты) украшают тело, подобно ёлочной гирлянде. Эти «биологические фонарики» выполняют различную роль. Иногда они служат для привлечения жертвы, иногда по-



Рис. 141. Рыба-удильщик

могают запугать врага. Кроме того, свет может стать средством привлечения себе подобных, особенно в период размножения. В этом плане очень интересны рыбы-удильщики (рис. 141). Они живут на глубине более 1000 м в тропических и умеренно тёплых водах Мирового океана. У них тёмное, обычно голое тело, отсутствуют брюшные плавники. Самки достигают 60 см в длину, а самцы — крошечные, всего около 4 см, поэтому они паразитируют на самках, внедряясь в их кожу. У самок рыбы-удильщика «фонарик» находится на голове на конце своеобразной удочки. Рыба произвольно зажигает или гасит этот фонарик, расширяя или сжимая подходящие к нему кровеносные сосуды. Свет фонарика привлекает рыбёшек, рачков и даже небольших кальмаров, которых и заглатывает самка удильщика. Самец же все необходимые питательные вещества получает из крови самки, с кровеносной системой которой соединил свою собственную.

Чарлз Дарвин наблюдал свечение крохотных океанических организмов во время кругосветного путешествия на корабле «Бигль». Находясь под большим впечатлением от увиденного, он записал: «Однажды тёмной ночью, когда мы находились у восточного побережья Южной Америки, недалеко от Ла-Платы, море представляло удивительное и прекрасное зрелище. Дул свежий ветерок, и вся поверхность моря, которая днём была покрыта пеной, теперь светилась бледным светом. Перед носом корабля вздымались две волны как бы из жидкого фосфора, а за его кормой тянулся молочно-белый след. Кругом, насколько было видно, ярко сияли гребни волн, а на горизонте небосклон, отражая блеск этих синеватых огоньков, не был так тёмным, как небо над нами». Шесть маленьких существ одного из видов планктона, помещённые в банку, позволяют человеку с нормальным зрением читать газету!

Светящиеся животные имеются и среди обитателей пещер.



Далее поговорим о внутренней энергии, которой обладают все тела живой и неживой природы.

Вы знаете

- ▶ как развивалось учение о свете в XVII—XX вв.
- ▶ что такое дисперсия световых волн
- ▶ что такое интерференция световых волн
- ▶ что такое дифракция световых волн

Вы можете

- ▶ объяснить, что представляет собой свет с точки зрения физики и что такое шкала электромагнитных волн
- ▶ рассказать о том, как биосфера защищена от ультрафиолетовых лучей
- ▶ сформулировать, что такое фотопериодизм, суточные и сезонные биоритмы
- ▶ назвать группы, на которые делятся растения по отношению к степени освещённости, привести примеры таких растений
- ▶ дать характеристику ярусности растительных сообществ и листовой мозаике
- ▶ описать процесс эволюции органов зрения у животных и определить его значение в их жизни
- ▶ описать, какую роль в жизни морских обитателей играет биолюминесценция

Выполните задания

1. Приведите доказательства электромагнитной природы света.
2. Опишите опыты, которые позволяют наблюдать дисперсию света, интерференцию света и его дифракцию.
3. Объясните, как проявляется адаптация растений к максимальному использованию солнечного света для фотосинтеза.

Темы для рефератов

1. Проблемы сохранения озонового щита планеты и пути их решения.
2. Приспособленность животных к среде обитания с помощью зрения.
3. Биолюминесценция у рыб.

§ 26. Внутренняя энергия макроскопической системы. Тепловое равновесие

1. Объясните, в каком случае тело обладает потенциальной, а в каком — кинетической энергией.
2. Вспомните, что называется удельной теплоёмкостью вещества.
3. Назовите прибор, которым измеряют температуру тела.

ПОНЯТИЕ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ. Внутренняя энергия — важнейшее условие существования и характеристика всех тел живой и неживой природы. Для того чтобы определить её значение в организации жизни на нашей планете, познакомимся с основными физическими понятиями термодинамики.

Макроскопические тела состоят из движущихся и взаимодействующих частиц: молекул, атомов, ионов. В свою очередь, атомы и ядра атомов тоже состоят из движущихся и взаимодействующих частиц.

Как вам известно, движущиеся тела обладают кинетической энергией, следовательно, частицы (молекулы, атомы, ионы), из которых состоит вещество, обладают кинетической энергией.

Взаимодействующие тела обладают потенциальной энергией. Поскольку частицы вещества взаимодействуют между собой, то они обладают потенциальной энергией.

Следовательно, частицы, из которых состоят макроскопические тела, обладают кинетической и потенциальной энергией. Их сумма составляет внутреннюю энергию макроскопической системы.

Внутренней энергией макроскопической системы называют сумму кинетической энергии движения составляющих его частиц (молекул, атомов, ионов) и потенциальной энергии их взаимодействия.

Обозначают внутреннюю энергию буквой U . Единицей внутренней энергии является *джоуль* (Дж).

К внутренней энергии относят и энергию движения и взаимодействия частиц, входящих в состав атомов и атомных ядер вещества, однако в молекулярной физике имеют дело с процессами, которые происходят при не слишком высоких температурах и не связаны с превращением вещества. В этих процессах внутриатомная и внутриядерная энергия не изменяется.

Внутренняя энергия, так же как *температура, давление и объём* (термодинамические параметры), характеризует состояние системы. При изменении состояния системы изменяется и значение её внутренней энергии.

Кинетическая энергия тела прямо пропорциональна квадрату его скорости. Поскольку молекулы имеют разные скорости и, следовательно, разные кинетические энергии, то для характеристики состояния тела используют понятие средней кинетической энергии движения молекул:

$$\bar{E}_k = \frac{m_0 \overline{v^2}}{2},$$

где $\sqrt{\overline{v^2}}$ — **средняя квадратичная скорость** движения N молекул:

$$\overline{v^2} = \frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N}.$$

Так как температура тела прямо пропорциональна средней кинетической энергии составляющих его частиц, то внутренняя энергия тела зависит от его температуры и об изменении внутренней энергии можно судить по изменению температуры тела.

Внутренняя энергия тела зависит и от его агрегатного состояния. Так, она больше у стоградусного пара, чем у воды такой же массы при той же температуре, что объясняется различием потенциальных энергий взаимодействия молекул пара и воды.

Внутренняя энергия зависит и от деформации тела: она больше у деформированного тела, чем у недеформированного.

Следует иметь в виду, что внутренняя энергия тела не зависит от его движения как целого и от его положения в пространстве. Так, значения внутренней энергии у шарика, лежащего на полу, и у того же шарика, поднятого на некоторую высоту, одинаковы при одинаковых прочих условиях.

СПОСОБЫ ИЗМЕНЕНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ. Из курса физики основной школы вы знаете, что внутреннюю энергию макроскопической системы можно изменить в *процессе совершения работы* или *путём теплопередачи*.

Если взять монету и потереть её о поверхность стола, то через некоторое время можно ощутить, что монета нагрелась, следовательно, выросла её внутренняя энергия. На ощупь можно определить повышение температуры гвоздя, забиваемого молотком. В этом случае механическая энергия молотка превращается во внутреннюю энергию гвоздя и молотка.

Можно наблюдать уменьшение внутренней энергии системы, когда она сама совершает работу. Если на дно толстостенной банки налить

немного воды и закрыть банку пробкой, а затем накачать в неё воздух, то при некотором давлении пробка из банки вылетит (рис. 142). В банке при этом образуется туман, который хорошо виден. Пробка вылетит под действием избыточного давления воздуха в банке. При этом воздух совершил механическую работу за счёт своей внутренней энергии. Об уменьшении внутренней энергии свидетельствуют понижение температуры воздуха в банке и, как следствие этого, образование тумана.

Внутреннюю энергию можно изменить, не совершая работу. Например, внутренняя энергия воздуха в комнате и всех предметов, находящихся в ней, будет увеличиваться, если при закрытых окнах и дверях включить батареи центрального отопления или затопить печь. Если опустить в горячую воду ложку, то температура ложки повысится, а воды понизится. В этом случае изменение внутренней энергии макроскопических тел происходит без совершения работы в процессе теплопередачи (теплообмена).

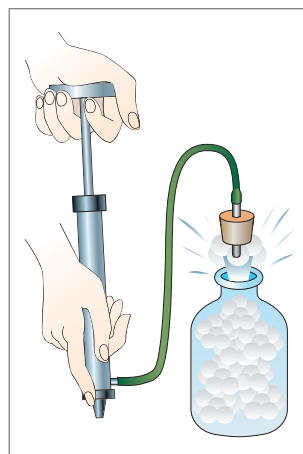


Рис. 142. Опыт, демонстрирующий уменьшение внутренней энергии системы

Теплопередачей называют способ изменения внутренней энергии тела, при котором происходит передача энергии от одной части тела к другой или от одного тела к другому без совершения работы.

При теплопередаче не происходит превращения энергии из одной формы в другую, как при совершении работы. Этот процесс характеризуется передачей внутренней энергии от более нагретого тела к менее нагретому. Как вам известно, существует три вида теплопередачи: теплопроводность, конвекция и излучение.

КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ. УДЕЛЬНАЯ ТЕПЛОЁМКОСТЬ ВЕЩЕСТВА. Мерой изменения внутренней энергии в процессе теплопередачи является количество теплоты. Количество теплоты обозначается буквой Q , единица количества теплоты — джоуль.

Количество теплоты Q , полученное или отданное телом массой m в процессе теплопередачи, рассчитывается по формуле: $Q = cm(t_2 - t_1)$, где c — удельная теплоёмкость вещества, t_1 — начальная температура тела, t_2 — конечная температура тела.

Как следует из приведённой формулы, если тело в процессе теплопередачи получает энергию, то $t_2 > t_1$ и $Q_2 > 0$; если тело отдаёт энергию, то $t_2 < t_1$ и $Q < 0$.

ТЕПЛОВОЕ РАВНОВЕСИЕ. Ежедневно вы имеете дело с телами, находящимися в различных состояниях, которые характеризуются определёнными параметрами. Например, макроскопические системы — кусок льда, принесённый в комнату зимой, и воздух в комнате — имеют разную температуру. Через некоторое время в результате теплообмена температура льда повысится, а воздуха несколько понизится, лёд растает, образовавшаяся вода нагреется и её температура станет равной температуре воздуха в комнате.

» **Напомним,** что количество теплоты, которое нужно сообщить 1 кг вещества, чтобы повысить его температуру на 1°C , равно удельной теплоёмкости вещества. Такое же количество теплоты отдаст 1 кг вещества при понижении его температуры на 1°C .

Говорят, что между водой и воздухом в комнате установилось

тепловое или термодинамическое равновесие, а эти макроскопические системы в данном случае представляют собой термодинамическую систему.

Термодинамическая система — это совокупность макроскопических систем, которые могут обмениваться энергией между собой и с внешними телами.

Если в дальнейшем никаких внешних воздействий на рассматриваемую нами термодинамическую систему оказано не будет, т. е. не включают нагревательные приборы, не откроют окно и дверь и т. п., то состояние теплового равновесия системы «вода — воздух» не нарушится. Термодинамическую систему, не участвующую в теплообмене с окружающими телами, называют **теплоизолированной**.

Теплоизолированная термодинамическая система с течением времени всегда приходит в равновесное состояние и самопроизвольно выйти из него не может.

Это утверждение составляет сущность **закона термодинамического равновесия**.

Состояние системы может быть *равновесным* и *неравновесным*. Равновесное состояние характеризуется неизменностью во времени всех термодинамических параметров состояния теплоизолированной системы.

Например, если стакан с горячей водой оставить в комнате, то через некоторое время стакан и вода в нём придут в состояние термодинамического равновесия с воздухом и предметами, находящимися в комнате. При этом температура, давление и объём будут оставаться неизменными сколь угодно долго при отсутствии внешних воздействий.

Если система находится в неравновесном состоянии, то, предоставленная самой себе, с течением времени она придёт в равновесное состояние.

ТЕМПЕРАТУРА. Термодинамика изучает процессы, происходящие с макроскопическими системами, и их свойства, связанные с превращением энергии. Состояние термодинамической системы описывается такими параметрами, как объём, давление, температура (рис. 143).

Среди параметров, характеризующих состояние термодинамической системы, температура является особым параметром. **Температура** — параметр, характеризующий состояние термодинамического равновесия, её значение во всех частях равновесной системы одинаково.

Это свойство отличает температуру от других параметров состояния, например объёма или давления. Их значения в состоянии теплового равновесия со временем также не изменяются, но не являются одинаковыми во всех частях равновесной системы. К примеру, если из холодного помещения внести в тёплую комнату пустую стеклянную бутылку, плотно закрытую пробкой, то через некоторое время температура бутылки, воздуха в ней и в комнате выровняется и останется одинаковой и неизменной при отсутствии внешних воздействий. Однако давление воздуха в бутылке будет больше, чем давление воздуха в комнате. Оно будет оставаться таким сколь угодно долго при отсутствии внешних воздействий. Таким образом, если температура одинакова для всех тел термодинамической системы, находящейся в равновесном состоянии, то значения других параметров — давления и объёма — могут быть разными для тел, входящих в систему.

Закон термодинамического равновесия и приведённое понятие температуры составляют содержание **нулевого закона термодинамики**.



Рис. 143.
В. Г. Цыплаков.
Мороз и солнце.
1949 г.

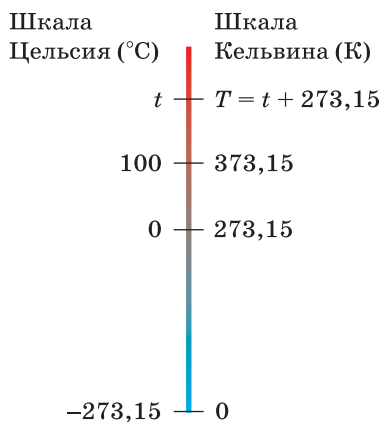


Рис. 144. Температурные шкалы Цельсия и Кельвина

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ. Сложность измерения температуры заключается в том, что её нельзя сравнить с эталоном, как, например, массу или длину. Поэтому используют зависимость от температуры физических свойств тел: объёма, давления, электрического сопротивления и т. п. Первой для измерения температуры была использована зависимость объёма жидкости от температуры. Эта зависимость легла в основу построения *шкалы Цельсия*, в которой за 0° принимают точку замерзания воды, а за 100° точку кипения воды при атмосферном давлении. Термометром со шкалой Цельсия измеряют температуру человека.

Другой температурной шкалой является *шкала Кельвина*, в которой температура отсчитывается от абсолютного нуля.

Абсолютный нуль — это такая температура, при которой прекращается тепловое движение частиц, составляющих тело.

Состояния с температурой, равной абсолютному нулю, достичь нельзя, поскольку тепловое движение молекул невозможно прекратить.

Сравнить шкалы Цельсия и термодинамическую можно по приведённой выше схеме (рис. 144). На ней видно, что абсолютному нулю соответствуют $-273,15^\circ\text{C}$, температуре таяния льда $273,15\text{ K}$, температуре кипения воды $373,15\text{ K}$, а $1^\circ\text{C} = 1\text{ K}$.

Соотношение между значениями температуры по шкале Цельсия и по термодинамической шкале выражается формулами:

$$T = t + 273,15; t = 273,15 - T.$$

Часто величиной $0,15$ пренебрегают, так как она мала по сравнению с 273 , и при решении задач за абсолютный нуль принимают температуру -273°C .



В следующем параграфе будет дан ответ на вопрос, какое влияние оказывает температура на растения и животных.

🕒 Вы знаете

- ▶ что представляет собой внутренняя энергия
- ▶ какие существуют способы изменения внутренней энергии

- ▶ что такое количество теплоты и удельная теплоёмкость вещества
- ▶ что такое температура и тепловое равновесие
- ▶ как измерить температуру и какие шкалы для измерения температуры существуют

Вы можете

- ▶ объяснить, какие существуют способы изменения внутренней энергии, и привести примеры
- ▶ дать определение теплопередачи
- ▶ назвать три вида теплопередачи
- ▶ охарактеризовать состояние теплового равновесия

Выполните задания

1. Сформулируйте понятие «внутренняя энергия».
2. Объясните, от чего зависит и от чего не зависит внутренняя энергия макроскопической системы.
3. Дайте определение термодинамической системы, абсолютного нуля.

Темы для рефератов

1. Использование и учёт различных видов теплопередачи в быту и на производстве.
2. Температура как физическая величина и способы её измерения.
3. Тепловое равновесие в природе и технике.
4. Абсолютный нуль: загадки и открытия.

§ 27. Температура и приспособленность к ней живых организмов

1. Объясните, какое влияние оказывает изменение температуры окружающей среды на живые организмы.
2. Расскажите, каким образом животные и растения реагируют на повышение или понижение температуры окружающей среды.

ПОНЯТИЕ ТЕРМОРЕГУЛЯЦИИ. Одним из важнейших абиотических факторов внешней среды, который оказывает заметное влияние на интенсивность фотосинтеза, обмена веществ, движения, размножения и др., является температура. Она определяет свойство растений и животных, называемое *терморегуляцией*.

Терморегуляция — это совокупность физиологических процессов, которые обеспечивают оптимальную для организма температуру тела в условиях меняющейся температуры окружающей среды.

Способность к терморегуляции определяет расселение и выживание животных в различных климатических условиях. Простым и экономичным способом терморегуляции является регулирование теплоотдачи с поверхности тела изменением позы животного. Так, если зверю холодно, он сворачивается клубком, спрятав нос в мех и поджав лапы, сберегая тем самым тепло (рис. 145). Если же, наоборот, животному жарко, оно лежит вытянувшись, а собаки ещё и высовывают язык, охлаждаясь за счёт испарения жидкости с него. В улье специальные рабочие пчёлы поддерживают нужную температуру и влажность воз-



Рис. 145. Кошка, свернувшаяся клубочком

духа, усиленно работая крылышками. А у многолетнего травянистого растения под названием ясенец, с длинными, почти в метр, стеблями и красивыми розовыми цветами, в жаркий, знойный день листья выделяют эфирное облачко, чтобы замедлить испарение влаги. Иногда такой способ защиты растения может являться причиной возникновения лесных пожаров, так как эфирные масла легко воспламеняются.

ТЕМПЕРАТУРА В ЖИЗНИ ЖИВОТНЫХ. По температурному режиму животные подразделяются на следующие группы: гомойотермные и пойкилотермные.

Гомойотермные животные (от *греч.* *homoios* — сходный и *thérme* — тепло) — теплокровные организмы, температура которых более или менее постоянна и не зависит от температуры окружающей среды. К ним относятся млекопитающие и птицы. Постоянство температуры у этих животных связано с высоким уровнем обмена веществ. Кроме того, у них в организме существуют термоизоляционные барьеры: оперение у птиц, шерсть у животных, а также жировой слой. Температура тела у млекопитающих составляет $+36—38^{\circ}\text{C}$, а у птиц $+40—43^{\circ}\text{C}$. И сохраняется на постоянном уровне вне зависимости от температуры воздуха. Например, температура тела песка $+38^{\circ}\text{C}$, а белой куропатки $+43^{\circ}\text{C}$ даже при сорокаградусном морозе, столь характерном для зоны арктических пустынь и тундры, где встречаются эти животные. И только у примитивных групп млекопитающих, например яйцекла-



Рис. 146. Млекопитающие с непостоянной температурой тела:
а — утконос; б — ехидна

дущих (утконос, ехидна; рис. 146), терморегуляция несовершенна и температура их тела относительно непостоянна.

Особо выделяют **гетеротермных** животных (от *греч.* *héteros* — иной и *thérme* — тепло) — гомойотермные организмы, которые имеют постоянную температуру тела в активном состоянии и непостоянную в период отдыха или оцепенения и спячки. К таким животным относятся медведи, барсуки, сурки, суслики, летучие мыши и ежи (рис. 147). Этот способ терморегуляции является специальной формой адаптации, который обеспечивает оптимальный уровень обмена веществ.

Пойкилотермные животные (от *греч.* *poikilos* — различный и *thérme* — тепло) — холоднокровные организмы с непостоянной температурой тела, зависящей от температуры окружающей среды. К ним относятся все беспозвоночные, а также три класса позвоночных: рыбы, амфибии (земноводные; рис. 148) и рептилии (пресмыкающиеся; рис. 149). Они имеют температуру тела всего на 1—2 °С выше температуры окружающей среды, а часто и равную ей. Повышение температуры окружающей среды вызывает у них резкое ускорение всех физиологических процессов, изменение активности поведения. Так,



Рис. 147. Летучая мышь (а) и ёж (б)



Рис. 148. Квакша
обыкновенная



Рис. 149. Гремучая змея



Рис. 150. Бабочка

у гусеницы бабочки-капустницы период до стадии куколки сокращается в 10 раз при повышении температуры всего на 15 °С. Ящерицы предпочитают температуру тела +37 °С. При повышении или понижении температуры среды за пределы оптимальных значений пойкилотермные животные впадают в оцепенение или гибнут. Например, у змей и ящериц при температуре воздуха выше +45 °С наступает оцепенение, а у амфибий при температуре воды ниже +4 °С — такое состояние покоя, при котором жизненные процессы крайне замедленны.

У некоторых змей, например у гремучей змеи или питона, есть термолокаторы — небольшие ямки на голове с рецепторами под кожей, которые улавливают тепловое излучение потенциальных жертв даже тогда, когда их температура изменяется всего на 0,1 °С. Особенно точно эти рецепторы действуют, когда прохладно, поэтому змеи являются ночными хищниками.

Интенсивные мышечные нагрузки пойкилотермных организмов приводят к значительному повышению температуры тела. Так, у шмелей, саранчи и бабочек (рис. 150) температура тела повышается до +35—40 °С во время полёта и быстро снижается до температуры воздуха после прекращения полёта.

ТЕМПЕРАТУРА В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ. Растения тоже зависят от температурного режима. Выяснено, что процесс фотосинтеза наиболее интенсивно протекает в диапазоне +15—25 °С. При высоких температурах происходит сильное обезвоживание растений и наблюдается их угнетение, так как процессы дыхания и испарения воды начинают преобладать над фотосинтезом. При более низких температурах (менее +10 °С) фотосинтез резко замедляется. При температуре ниже 0 °С могут случиться даже повреждения клеточных структур в результате замерзания содержащейся в них воды. Поэтому растения выработали специальные механизмы, позволяющие предотвратить этот процесс. Клетки их тканей зимой содержат концентрированные растворы сахара, глицерина и других веществ, играющих роль *антифризов*, т. е. средств, значительно понижающих температуру замерзания воды.



Рис. 151. Панорама гор

Изменение температуры воздуха, увеличение количества ультрафиолетовой радиации и снижение испарения являются причинами *высотной поясности* в горах (рис. 151). Она ярко выражается в смене климата почв и типов растительности по высоте и во многих случаях сходна с широтной зональностью. Покажем для примера, что представляет собой смена высотной поясности гор Большого Кавказа (высота дана над уровнем моря):

- 2400—3300 м — пояс низкотравных лугов (альпийские луга);
- 2000—2400 м — пояс высокотравных лугов;
- 1500—2000 м — пояс хвойных лесов;
- 800—1500 м — пояс широколиственных лесов;
- 200—800 м — пояс лесостепи;
- 100—200 м — пояс степи.

ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ И КОЛЕБАНИЯ ТЕМПЕРАТУР. По отношению к тому, в каких пределах организмы способны переносить колебания температуры, они делятся на две группы.

Стенотермные организмы (от *греч.* *stenos* — узкий и *thérme* — тепло) — растения и животные, приспособленные к жизни в узком интервале температур и не выносящие резких колебаний температуры. Наиболее типичными их представителями являются обитатели экваториального пояса, арктических и антарктических широт и глубинных слоёв морей и океанов. Например, это водоросли полярных льдов и высокогорных участков, живущие только при температуре около 0 °С. Среди животных представителем этой группы можно назвать ледяную рыбу, которая обитает в холодных водах Антарктики, где колебания температур составляют всего 2—3 °С. У этой рыбы имеется ещё одна

удивительная особенность — кровь у неё прозрачная или белая из-за отсутствия эритроцитов. Такая особенность позволяет понижать вязкость крови, а это обеспечивает необходимое кровообращение в ледяных водах (отсюда и название рыбы).

Эвритермные организмы (от *греч.* *eury* — широкий и *thérme* — тепло) — растения и животные, приспособленные к жизни в широком интервале температур. Из животных к этой группе относится большинство представителей птиц и млекопитающих, а из растений — обитатели высоких и умеренных широт, где чётко прослеживаются сезонные колебания температур. Приспособленность организмов к существованию в широком температурном режиме основана на выработке антифризов в цитоплазме клеток или на активных физиологических и поведенческих механизмах терморегуляции. Как активность поведения, так и увеличение концентрации растворимых веществ

— антифризов в клетках, наблюдается у муравьёв и других насекомых, обитающих на стволах деревьев. Снижение уровня влаги в тканях также способствует выживанию как при низких, так и при высоких температурах: обезвоживаются семена высших растений, споры низших и цисты у простейших. Общественные насекомые строят муравейники, ульи, термитники, в которых легче поддерживать комфортную для жизни температуру.



Настоящие вокзалы —
Муравейники в лесу:
В коридоры, двери, залы
Муравьи багаж несут!

Самый сильный, самый стойкий,
Муравей пришёл уже
К замечательной постройке
В сорок восемь этажей.

О. Мандельштам

Особую группу составляют организмы, приспособленные к обитанию в условиях высоких температур — тропиков, субтропиков, горячих источников, жарких пустынь (Сахара, Калахари, пустыни Австралии). Их называют **термофильными** (любящими тепло). К термофилам относят бактерии, синезелёные водоросли, растения и животные тропиков и субтропиков. Интересно поведение муравьёв, живущих в пустыне Сахара. Эти муравьи питаются падалью и предпочитают температуру выше +48 °С. В такую жару они покидают свои норы и быстро растаскивают останки погибших насекомых. Это позволяет муравьям избежать встречи с ящерицами, которые в это время прячутся от солнца, а потому не смогут пообедать своим любимым лакомством.



Далее мы поговорим о физических и химических свойствах воды.

☉ Вы знаете

- ▶ что такое терморегуляция
- ▶ какова роль температуры в жизни растений и животных
- ▶ как живые организмы приспосабливаются к колебаниям температур

☉ Вы можете

- ▶ привести примеры разных способов терморегуляции у растений и животных
- ▶ перечислить группы, на которые делятся животные по температурному режиму
- ▶ объяснить, что представляют собой stenothermic и eurythermic животные и растения
- ▶ дать характеристику особой группе организмов — термофилам

☉ Выполните задания

1. Назовите представителей гомойотермных животных. Опишите механизмы, которые они выработали для жизни в неблагоприятных температурных условиях.
2. Назовите представителей гетеротермных животных. Опишите механизмы, которые они выработали для жизни в неблагоприятных температурных условиях.
3. Назовите представителей пойкилотермных животных. Опишите механизмы, которые они выработали для жизни в неблагоприятных температурных условиях.
4. Опишите смену природных зон при высотной поясности на примере гор Большого Кавказа. Покажите, как А. С. Пушкин отразил эту особенность в стихотворении «Кавказ». Приведите другие литературные произведения, иллюстрирующие высотную поясность в горах.

☉ Темы для рефератов

1. Роль температуры в жизни растений.
2. Роль температуры в жизни животных.
3. Сезонная спячка — один из способов терморегуляции у животных.
4. Ледниковая эпоха в истории Земли и её последствия для животного и растительного мира.

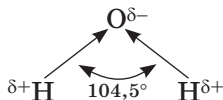
§ 28. Вода. Физические и химические свойства воды

1. Охарактеризуйте значение воды в живой и неживой природе.
2. Перечислите известные вам агрегатные состояния воды.
3. Расскажите, какие бывают атмосферные осадки.

СТРОЕНИЕ МОЛЕКУЛЫ ВОДЫ. Знакомство с физическими и химическими свойствами воды, с её аномальным поведением следует начать с изучения её «скелета». Молекула воды имеет угловое строение: ядра входящих в её состав атомов образуют равнобедренный треугольник, в основании которого находятся два атома водорода, а в вершине — атом кислорода. Межъядерное расстояние $O-H$ близко к $0,1$ нм, расстояние между ядрами атомов водорода равно $0,15$ нм, угол между связями $H-O-H$ равен $104,5^\circ$. Из октетной оболочки атома кислорода в молекуле воды четыре электрона задействованы в образовании ковалентных связей $O-H$, оставшиеся четыре составляют две неподелённые электронные пары:



Связи $O-H$ являются полярными за счёт более высокой электроотрицательности кислорода, на котором локализован частичный отрицательный заряд. На атомах водорода, напротив, создаётся дефицит электронной плотности и образуется частичный положительный заряд:



В целом молекула H_2O является полярной молекулой, т. е. **диполем**.

Относительная молекулярная масса воды равна 18 и отвечает её простейшей формуле. Однако молекулярная масса жидкой воды оказывается более высокой. Это свидетельствует о том, что в жидкой воде происходит ассоциация молекул, т. е. соединение их в более сложные агрегаты за счёт межмолекулярной водородной связи.

В физике и химии существуют различные точки зрения на водородную связь. В физике ионную, ковалентную и металлическую химические связи рассматривают как отдельные типы связей, тогда как водородную связь в отдельный тип не выделяют. Она рассматрива-

ется как частный случай межмолекулярного взаимодействия. Её энергия сравнительно невелика и не превышает 40 кДж/моль, т. е. эта связь вписывается в энергетическую характеристику межмолекулярных сил.

В химии водородная связь — это не просто отдельный тип связи, а важнейший фактор в организации живой материи на планете. С химиками солидарны и биологи.

Межмолекулярная водородная связь — это взаимодействие между атомами водорода одной молекулы и атомами фтора, кислорода и азота другой молекулы.

Обязательным партнёром в образовании водородной связи служит водород, что легко объяснить особенностями строения атомов данного химического элемента (наличие на внешнем, и единственном, уровне единственного электрона, который легко отрывается, превращая атом в протон). Партнёры водорода по этому типу связи — фтор, кислород и азот — также имеют особенности строения атомов (большое значение электроотрицательности и наличие неподелённых электронных пар), которые и обеспечивают водородную связь.

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВОДЫ. При обычных условиях вода — жидкое прозрачное вещество без цвета, вкуса и запаха. Плотность жидкой воды имеет максимальное значение 1 г/см³ при 4 °С. При 0 °С вода переходит из жидкого состояния в твёрдое — лёд. При 100 °С кипит и переходит в газообразное состояние — водяной пар. Аналоги воды по строению и химическому составу — H₂S, H₂Se, H₂Te — при комнатной температуре находятся в газообразном состоянии. Если бы свойства воды подчинялись общей закономерности, то она закипала бы при температуре –70 °С, а лёд образовывался бы при –90 °С, что вряд ли способствовало жизни на планете в её настоящем виде. Наличие водородной связи у низкомолекулярного вещества воды и объясняет аномально высокие значения её температур плавления и кипения.

Чистое вещество вода обладает и другими особенностями, которые делают это соединение поистине уникальным.

Смотри, как облаком живым
Фонтан сияющий клубится;
Как пламенеет, как дробится
Его на солнце влажный дым.



Лучом поднявшись к небу, он
Коснулся высоты заветной —
И снова пылью огнецветной
Ниспасть на землю осуждён.

О смертной мысли водомёт,
О водомёт неистоцимый!
Какой закон непостижимый
Тебя стремится, тебя мятёт?

Как жадно к небу рвёшься ты!..
Но длань незримо-роковая
Твой луч упорный, преломляя,
Свергает в брызгах с высоты.

Ф. Тютчев

Вода имеет максимальную плотность при $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$. При дальнейшем охлаждении плотность воды уменьшается вплоть до замерзания при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Именно поэтому лёд располагается на поверхности жидкой воды, а не тонет в ней. Вряд ли вы назовёте хотя бы ещё одно вещество, обладающее таким свойством. Ледяное покрывало укутывает верхнюю часть водоёма, укрывая, как шубой, его нижние слои и защищая водоём от промерзания. Не обладай вода таким необычным свойством, все водоёмы и даже Мировой океан за определённый геологический период времени промёрзли бы до дна. Жизнь на Земле не только не получила бы своего эволюционного развития, она просто бы не возникла.

Вода обладает высокими значениями удельной теплоты плавления и удельной теплоты парообразования, которым академик В. И. Вернадский придавал планетарное значение, так как они определяют многие физико-химические и биологические процессы на Земле (рис. 152).

Высокая удельная теплота плавления льда, равная $332 \cdot 10^3\text{ Дж/кг}$, оберегает нашу планету от всемирных потопов. Таяние льда (рис. 153) и снега связано с огромными энергетическими затратами, поэтому процесс происходит постепенно, в большинстве случаев не причиняя вреда природе.

На испарение 1 г воды при нормальном атмосферном давлении и температуре кипения расходуется 2257 Дж теплоты, т. е. приблизительно в 7 раз больше, чем на плавление льда той же массы. В этом кроется одна из причин сохранения воды в жидком состоянии на нашей планете. Даже в самые жаркие дни вода испаряется крайне медленно. Поэтому и температурный режим при смене времён года меняется не резко, а плавно.

Вода имеет высокую удельную теплоёмкость — она равна $4,2 \cdot 10^3\text{ Дж/кг}$. На континентах не бывает резкого перепада температур зимой и летом, ночью и днём, поскольку они окружены гигантским регулятором, своеобразным термостатом — водами Мирового океана.

При нагревании удельная теплоёмкость веществ, как правило, возрастает, но вода — исключение. Изменение удельной теплоёмкости

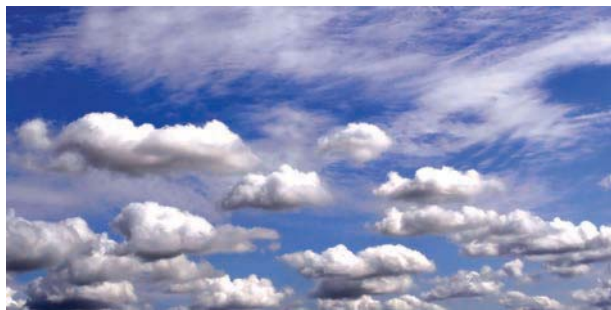


Рис. 152. Облака — это миллиарды мельчайших капелек воды



Рис. 153. Таяние льда

воды с повышением температуры аномально: от 0 до 30 °С она понижается и только от 50 до 100 °С повышается. Значит, удельная теплоёмкость воды достигает минимального значения при 36—37 °С, т. е. вблизи нормальной температуры тела человека и млекопитающих, благоприятной для биохимических реакций в их организме.

Ещё одна особенность воды — **высокое поверхностное натяжение**.

На каждую молекулу внутри жидкости действуют силы притяжения соседних молекул, окружающих её со всех сторон. На молекулы поверхностного слоя действуют как молекулы жидкости, так и молекулы газов воздуха. Взаимное притяжение молекул жидкости больше, чем молекул жидкости и газа, поэтому равнодействующая сил притяжения направлена внутрь жидкости и молекулы поверхностного слоя стремятся в неё втянуться. Под действием этой силы число молекул на поверхности уменьшается, её площадь сокращается. Но все молекулы, разумеется, не могут уйти внутрь. На поверхности остаётся такое их число, при котором площадь поверхности оказывается минимальной. Для перенесения молекул из глубины объёма жидкости в её поверхностный слой необходимо совершить работу по преодолению равнодействующей сил притяжения, действующих на молекулу в поверхностном слое.

Поверхностным натяжением σ называют величину, равную работе A , затраченной на увеличение поверхности жидкости на единицу:

$$\sigma = \frac{A}{S}, \text{ где } S — \text{площадь поверхности.}$$

Поверхностное натяжение собирает воду в капли (рис. 154) и позволяет водомерке (рис. 155) скользить по воде.



Рис. 154. Капли росы стремятся принять форму шара



Рис. 155. Водомерка на поверхности воды

Ещё одна характеристика воды — вязкость. С понижением температуры вязкость жидкостей, в том числе и воды, увеличивается. Однако в области температур от 0 до 30 °С с ростом давления вязкость воды уменьшается, что является аномалией. Поэтому активность глубоководных обитателей морей, живущих в низкотемпературных средах при высоких давлениях, даже в ледяной воде остаётся высокой: кровь, не потерявшая текучести, продолжает выполнять свои функции столь же интенсивно, как и при более высоких температурах.

ДИССОЦИАЦИЯ. ВОДА КАК РАСТВОРИТЕЛЬ. Вода имеет исключительно важное значение для жизнедеятельности клеток, тканей и органов всех живых организмов на Земле, так как является средой, в которой происходят реакции, лежащие в основе обмена веществ и энергии. Помимо этого, вода выполняет роль растворителя для различных химических веществ.

По отношению к воде все вещества делятся на два типа:

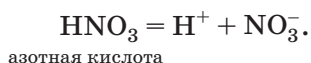
- **гидрофильные** — хорошо растворимые в воде (многие соли, спирты, кислоты, моносахариды и дисахариды и др.);
- **гидрофобные** — плохо растворимые в воде (жиры, полисахариды, сложные эфиры, жирные кислоты и др.).

Очевидно, не напрасно природа для построения мембраны живой клетки отобрала два слоя гидрофобных фосфолипидов с включениями в неё гидрофильных белков. Именно такое устройство мембраны позволяет ей избирательно пропускать внутрь и наружу клетки те или иные вещества.

Взаимодействие воды с гидрофильными веществами определяет такое явление, как **осмос** — *диффузия воды через полупроницаемую мембрану, разделяющую два раствора*. При этом возникает осмотическое давление, которое является результатом диффузии молекул воды из раствора меньшей концентрации в раствор большей концентрации. Эффекты, связанные с осмотическим давлением, играют большую роль в природе: они обеспечивают проникновение минеральных веществ из почвы в растения, а также обмен веществ в живых организмах.

Вода — среда и причина диссоциации электролитов. Замечательными гидрофильными веществами являются *электролиты* — соединения, которые в водной среде и под действием её молекул распадаются на ионы — *диссоциируют*. Обмен такими веществами внутри организма и между организмом и окружающей средой происходит на уровне образовавшихся в результате диссоциации ионов. Давайте повторим основные классы неорганических соединений в свете теории электролитической диссоциации, известной вам из курса основной школы.

Кислоты диссоциируют на катионы водорода и анионы кислотного остатка, например:



Вода оказывает сильное ионизирующее действие на растворённые в ней электролиты. Под действием диполей воды полярные ковалентные связи в молекулах растворённых веществ превращаются в ионные.

Основания диссоциируют на катионы металла (аммония) и гидроксид-анионы, например:

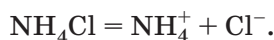


гидроксид натрия

Соли диссоциируют на катионы металла (аммония) и анионы кислотного остатка, например:



сульфат алюминия



хлорид аммония

По способности диссоциировать все электролиты делятся на слабые и сильные.

Слабые электролиты диссоциируют незначительно и обратимо. При этом процесс смещён в сторону соединения ионов в молекулы, например:

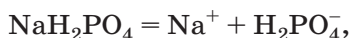


азотистая кислота

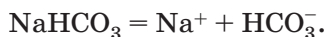


гидрат аммиака

Сильные электролиты почти полностью распадаются на ионы и поэтому диссоциируют необратимо:

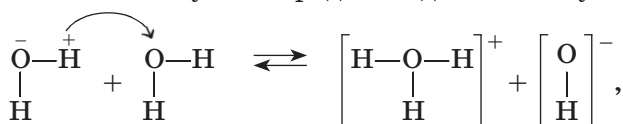


дигидрофосфат натрия



гидрокарбонат натрия

Вода — **амфотерное соединение**. Чистую воду можно рассматривать одновременно и как кислоту, и как основание. Это результат своеобразной «борьбы» молекул воды друг с другом. Одна из молекул «умудряется» вырвать у соседки протон и присвоить его себе, превращаясь при этом в ион гидроксония, т. е. в кислоту, а утратившая протон молекула становится гидроксид-ионом, т. е. основанием. Такому явлению дано особое название — **самоионизация**. Описанный процесс связан с тепловым движением частиц и взаимным влиянием диполей. В конечном итоге происходит ослабление и разрыв связей $\text{O}-\text{H}$ — протон присоединяется к атому кислорода соседней молекулы:



или

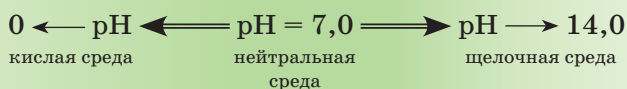


В сущности, ион гидроксония является гидратированным ионом водорода $\text{H}^+ \cdot \text{H}_2\text{O}$. Упрощённо процесс ионизации воды обычно выражают следующим уравнением:



Таким образом, при ионизации одновременно образуются катионы водорода и гидроксид-анионы, т. е. *вода является слабым амфотерным электролитом*. Легко заметить, что ионы образуются в равном соотношении и при диссоциации воды реакция среды нейтральна.

Степень ионизации воды незначительна. При комнатной температуре лишь одна из 10^8 молекул воды диссоциирует, что подтверждается весьма низкой электропроводностью чистой воды. Вода — не просто слабый, а очень слабый электролит. Концентрация ионов H^+ и OH^- в воде равна 10^{-7} моль/л. Поэтому вода не проявляет выраженных кислотных или основных свойств. Однако этот «нейтралитет» достаточно условен. Если химическим методом связывать один из ионов, т. е. смещать химическое равновесие, можно создавать в водных растворах кислую или щелочную среду. Для количественной оценки концентрации ионов H^+ в любом водном растворе используют так называемую **шкалу рН**, с помощью которой обозначают характер водной среды. Так, значение рН для нейтрального раствора составляет 7,0; для растворов, имеющих значение рН выше 7,0, — среда щелочная, а ниже 7,0 — среда кислая:



Например, рН лимонного сока равен 2,0.

Растения, живущие на кислых почвах или в воде с кислотной средой, у который $\text{pH} < 6,5$, называют **ацидофилами** (от *лат.* acidus — кислый и *греч.* phileo — люблю). На очень кислых почвах, у которых рН колеблется от 3,0 до 4,5, живут сфагнум и плауны. На почвах со средней кислотностью, у которых рН колеблется от 4,5 до 6,0, живут лютик и калужница. На почвах со слабой кислотностью, у которых рН колеблется от 6,0 до 6,5, живут ветреница и медуница.

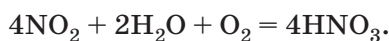
Растения, живущие на щелочных почвах, у которых $\text{pH} > 7,5$, называют **базофилами** (от *лат.* basic — основание и *греч.* phileo — люблю). Такие почвы, богатые кальцием, магнием и натрием, имеют пустыни и засушливые степи, где растут полынь, солянка, лебеда, ковыль и др.

Величина pH является характеристикой для всех жидкостей любого организма и в норме исключительно постоянна. Изменение pH чрезвычайно неблагоприятно для организмов, так как даже небольшие его сдвиги значительно понижают каталитическую активность ферментов, с помощью которых протекают все биохимические процессы в организме.

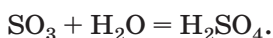
В живой природе обеспечение нормальных для жизнедеятельности организмов значений pH их жидких сред очень важно. Оно позволяет поддерживать **гомеостаз** — постоянство внутренней среды организма.

Полярность и малые размеры молекулы воды определяют её сильные гидратирующие свойства.

Гидратация — присоединение воды к веществу — в жизни биосферы имеет большое значение. Так, гидратация кислотных оксидов приводит к образованию кислот, которые восполняют недостаток связанного азота в почве, например к образованию азотной кислоты:



Или является причиной образования кислотных дождей, как в случае с серной кислотой:



Кислотные дожди — это результат взаимодействия атмосферной влаги с оксидами, содержащимися в выбросах вулканических газов, но гораздо чаще — в выбросах промышленных предприятий и транспорта. Попадая на листья и хвою деревьев, они вызывают их ожоги, деревья заболевают, леса сохнут (рис. 156), погибают мхи и лишайники.

РЕАКЦИИ ГИДРОЛИЗА. Гидролиз играет огромную роль в жизнедеятельности разных природных сред.

Гидролиз — это процесс обменного взаимодействия веществ с водой, приводящий к их разложению.



Рис. 156. Погибший от кислотных дождей хвойный лес

По своей сути гидролиз — «насильственное» связывание одного из ионов, образующихся при диссоциации воды. Это приводит к изменению кислотности растворов.

Различают несколько типов гидролиза.

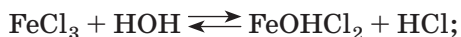
1. Гидролиз по аниону характерен для солей, образованных сильным основанием и слабой кислотой:



$\text{pH} > 7$, щелочная среда.

Труднорастворимые соли тоже подвергаются гидролизу, но он идёт очень медленно. Так, при внесении в кислые почвы известняка — карбоната кальция — происходит постепенный гидролиз этой соли за счёт катионов водорода, содержащихся в почве, что приводит к устранению её кислотности. В результате восстанавливается плодородие почвы, что имеет большое значение в растениеводстве, так как многие растения плохо развиваются на кислых почвах. К кислым относятся в первую очередь болотные и подзолистые почвы (рис. 157).

2. Гидролиз по катиону протекает с солями, образованными слабым основанием и сильной кислотой:



$\text{pH} < 7$, кислая среда.

Малорастворимые соли, например гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), по аналогичному механизму устраняют щёлочность почвы. К таким почвам относятся солонцы и солончаки (рис. 158).



Рис. 157. Болото — биogeоценоз с кислыми почвами



Рис. 158. Солончак — биogeоценоз с щелочными почвами

ФОТОСИНТЕЗ ВОДЫ. Под действием солнечного света в клетках растений протекает один из самых замечательных биохимических процессов на Земле — фотосинтез. При этом энергия солнечного света превращается в энергию химических связей образующихся органических веществ. Уравнение реакции фотосинтеза упрощенно записывают так:



Анализируя приведённое уравнение, можно сделать вывод, что в результате процесса фотосинтеза углекислый газ атмосферы при участии воды превращается в органические вещества, а в атмосферу выделяется кислород. Такое рассуждение может натолкнуть на мысль, что в результате фотосинтеза «высвобождается» кислород, входивший в состав углекислого газа. Однако это не так. Кислород образуется за счёт одной из стадий фотосинтеза — разложения воды под действием света при участии фотосинтетического пигмента (у зелёных растений — хлорофилла).

Некоторые растения настолько энергично осуществляют процесс фотосинтеза, что его можно заметить невооружённым глазом. Например, стебельки водного растения элодеи (рис. 159) на свету быстро покрываются множеством пузырьков кислорода.



Рис. 159. Элодея



В следующем параграфе мы поговорим о значении воды для живых организмов.

Вы знаете

- ▶ какое строение имеет молекула воды
- ▶ какими физическими и химическими свойствами обладает вода
- ▶ какие растения называют ацидофилами, какие — базофилами
- ▶ что такое гидролиз и фотосинтез

Вы можете

- ▶ объяснить, что такое электролиты и электролитическая диссоциация, описать роль воды в этом процессе
- ▶ назвать классы, на которые делятся электролиты по типу образующихся в результате диссоциации ионов, дать им определения

- ▶ рассказать, какие вещества называются амфотерными и почему вода относится к ним
- ▶ перечислить группы веществ по их способности к электролитической диссоциации
- ▶ сформулировать, что такое pH, как различается эта величина для разных сред

🎯 Выполните задания

1. Опишите строение молекулы воды и назовите химическую связь, за счёт которой она образуется.
2. Объясните, какая связь считается водородной и как она определяет физические свойства воды.
3. Перечислите известные вам аномалии физических свойств воды. Объясните, какую роль они играют в природе.
4. Зная, что растворимость является физико-химическим процессом, объясните, как она характеризует свойства воды. Расскажите, как по этому признаку делятся вещества (для ответа обратитесь к таблице растворимости).
5. Расскажите, какие вещества называются гидрофильными, а какие — гидрофобными, приведите примеры.
6. Положите на поверхность воды спичку. Капните с одной стороны вблизи спички жидкость для мытья посуды. Объясните наблюдаемое явление.

🎯 Темы для рефератов

1. Величина pH жидких сред организма.
2. Химические свойства воды и их роль в природе.
3. Кислотные дожди: причины, следствия, профилактика.
4. Фотоллиз — составная часть процесса фотосинтеза.

§ 29. Роль воды в биосфере

1. Расскажите о круговороте воды в природе.
2. Назовите морских и пресноводных животных.
3. Укажите растения, характерные для засушливых и, наоборот, влажных мест обитания.

КРУГОВОРОТ ВОДЫ В ПРИРОДЕ. Замечательный французский писатель Антуан де Сент-Экзюпери так красиво и образно писал о воде: «Вода, у тебя нет ни вкуса, ни цвета, ни запаха, тебя невозможно опи-



Рис. 160.
А. А. Рылов.
В голубом
просторе.
1918 г.

сать, тобой наслаждаются, не ведая, что ты такое. Нельзя сказать, что ты необходима для жизни: ты — сама жизнь!» (рис. 160). И это поистине так.

Вода составляет около 70% массы клеток. У отдельных организмов, например медуз, содержание воды более 95%. В теле взрослого человека вода составляет 60%, в теле рыб — до 75%, а у растений — от 50 до 90%.

Вода совершает в природе два круговорота, которые схематично показаны на рисунке 161.

Большой круговорот: из океанов, морей, рек и водоёмов вода испаряется в атмосферу, конденсируется в облака, дождём выпадает на землю и с реками возвращается в океан.

Малый круговорот: растение всасывает воду из земли, с растительной пищей она попадёт в тело животных и человека, откуда снова возвращается с выделениями и дыханием в воздух и в землю.

Благодаря этим круговоротам животные, растения и человек могут обитать на суше и всё же оставаться, по существу, водными организмами, так как вода составляет основную внутреннюю среду всякого живого организма. Таким образом, вода связывает живую и неживую природу в единое целое. Недаром академик В. И. Вернадский считал, что «вода и живое вещество — генетически связанные части организованности земной коры».

Важная роль воды в организации жизни на Земле давно была отмечена человеком. Аристотель включил её в число основных начал природы: огонь, воздух, вода, земля.

Рассмотрим более подробно, какую роль в биосфере играет вода.

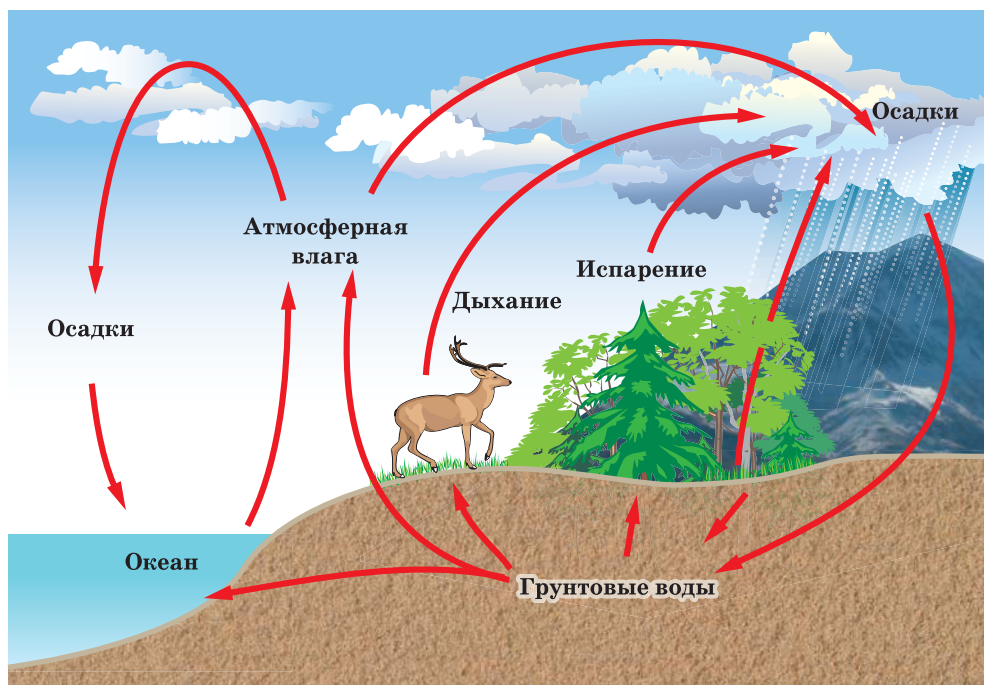


Рис. 161. Круговорот воды в биосфере

ВОДА — КОЛЫБЕЛЬ ЖИЗНИ. Как вам известно, именно в первичном океане, массовая доля солей в котором, по предположениям учёных, была низкой и составляла всего 0,9%, зародилась жизнь. Там «первые развились живые организмы, и из этого раствора они получили ионы и молекулы, необходимые для их роста и жизни... С течением времени живые организмы развивались и изменялись, что позволило им покинуть водную среду и перейти на сушу, а затем подняться в воздух. Они приобрели эту способность, сохранив в своих организмах водный раствор в виде жидкостей, содержащих необходимый запас ионов и молекул», — писал американский химик, лауреат Нобелевской премии *Л. Полинг* (1901—1994).



От капли росы, что трепещет, играя
Огнём драгоценных камней,
До бледных просторов, где, вдаль уходя,
Венчается пеною влага морская
На глади бездонных морей,
Ты — всюду, всегда, неизменно живая,
И то изумрудная, то голубая,
То полная красных и жёлтых лучей...

К. Бальмонт

Внутри каждого живого организма, например в организме человека, в каждой его клеточке, — воспоминание о первичном океане, в котором зародилась жизнь. Недаром в «волшебном» растворе, составляющем основу крови, — плазме, массовая доля солей такая же, как и в первичном океане, — 0,9%.

ВОДА — СРЕДА ОБИТАНИЯ МНОГИХ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ. Немало организмов так и осталось жить в океане или в пресноводных водоёмах. Океан был и остаётся ареной развития бурной и многообразной жизни. Его населяет 300 тыс. видов животных и микроорганизмов и 30 тыс. видов растений.

Почему такая большая разница в видовом составе флоры и фауны Мирового океана? Дело в том, что животные заселяют всю толщу вод океана, а растения могут жить всего лишь до глубины 100 м, куда достигают солнечные лучи. И хотя по сравнению с толщиной океана стометровая глубина кажется не очень значительной, именно этот слой обеспечивает жизнь в морях и океанах.

Живые организмы в океане и пресных водоёмах делятся на три группы: планктон, нектон и бентос.

Планктонные организмы обитают в толще воды, способны к самостоятельному движению, но не способны противостоять силе течения. Величина этих обитателей колеблется от микроскопической до нескольких сантиметров. Однако некоторые планктонные обитатели имеют очень крупные размеры, например, медузы с куполом до не-

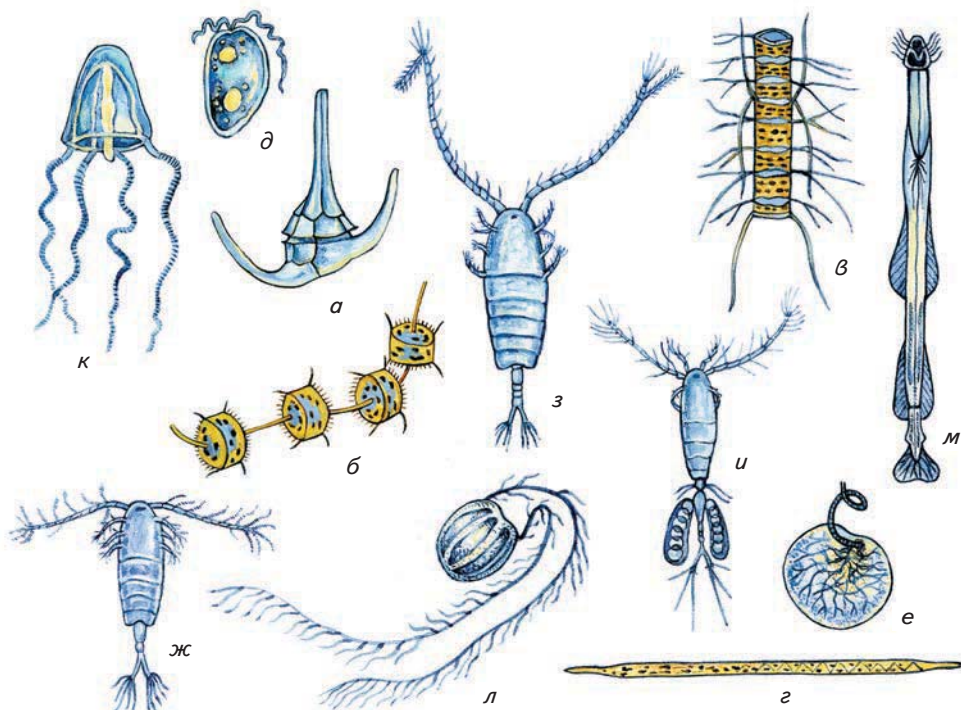


Рис. 162. Организмы, составляющие морской планктон: *а—д* — клетки водорослей; *е* — ночесветка; *ж—и* — мелкие ракообразные; *к* — медуза; *л* — гребневик; *м* — сагитта



Рис. 163. Камчатский краб (а) и речной рак (б)



Рис. 164. Камбала

скольких метров в диаметре. Планктон делится на животный — **зоопланктон** и растительный — **фитопланктон**. Понятно, что представители фитопланктона — водоросли, способные к фотосинтезу, населяют океаны и моря лишь на глубине до 100 м. Фитопланктон служит пищей для зоопланктона и других водных животных.

Зоопланктон распространён по всей толще воды. Он представлен мелкими ракообразными, простейшими, кишечнорастворными, икринками и личинками рыб. Для большинства планктонных организмов характерны приспособления для парения в толще воды: длинные выросты, газовые или жировые включения, студенистость тела и др.

Планктоном питаются различные мелкие рыбы (сардины, анчоусы и др.). И не только. Это излюбленное лакомство крупнейших морских животных — китов, которые поглощают громадное количество этих мельчайших обитателей океана, постоянно пропуская воду через пластины китового уса.

Нектон (от *греч.* nektós — плавающий) — активно плавающие водные животные, которые способны противостоять силе течения и перемещаться на значительные расстояния. К ним относятся рыбы, кальмары, китообразные, ластоногие, водные змеи, черепахи, пингвины и др.

Бентос (от *греч.* benthos — глубина) — организмы, обитающие на грунте и в грунте дна рек, морей и океанов. К активно передвигающимся животным бентоса относятся морские звёзды, крабы (рис. 163, а), раки (рис. 163, б). Есть организмы, которые то всплывают, то лежат на дне, — камбалы (рис. 164) и скаты. Малоподвижны моллюски (гребешки, блюдечки). Ко дну прикрепляются устрицы и другие моллюски, а в грунт закапываются ланцетники. Основная масса бентоса живёт на мелководных участках морей.

ВОДА — ОСНОВА БИОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. Вода служит средой, где протекают все биохимические реакции и жизненные процессы в животных и растительных клетках. Без воды не может существовать ни один организм.

Чем интенсивнее работает орган человека или млекопитающего животного, тем больше в нём воды. Так, содержание воды в мозге — 81%, в мышцах — 50—70%, костях — 34—40%.

Вода не только среда, но и активный участник биохимических реакций. Достаточно вспомнить реакции гидролиза.

Реакции гидролиза основных компонентов питания лежат в основе обмена веществ у живых организмов. Гидролиз органических веществ осуществляется под действием биологических катализаторов белковой природы — ферментов.

Обмен белков состоит в том, что с участием воды белки пищи в организме гидролизуются до аминокислот, из которых организм затем синтезирует собственные белки. В свою очередь, эти белки в следующем звене цепи питания опять подвергаются гидролизу, и из образующихся аминокислот строит свои белки уже новый организм, представляющий это звено, и т. д.:



Аналогично протекает углеводный обмен:



а также жировой обмен:



Подобную роль гидролиз выполняет и для энергетического обмена. При накоплении энергии в митохондриях клетки происходит образование богатых энергией соединений — молекул АТФ, которые отдадут эту энергию для выполнения работы:



И наконец, вода — важнейший участник процесса фотосинтеза, который лежит в основе как цепей питания, так и сохранения постоянного состава атмосферы Земли — поддержания в ней концентрации кислорода на постоянном уровне в 21%.

ВОДА — ВАЖНЕЙШИЙ УЧАСТНИК БИОГЕОЦЕНОЗА. Стекая с гор, вода дробит скалы и камни. Попадая в трещины и замерзая там в холодное время, она постепенно превращает их в песчинки. За многие миллионы лет вода в содружестве с солнцем, воздухом и растениями создала почву, превратив безжизненные скалы первозданной Земли в зелёный ковёр лесов и степей.

Кроме этого, вода — основа обмена веществ в биогеоценозе. Так, минеральное питание растений, т. е. усвоение ими минеральных веществ,

происходит с участием растворимых в воде соединений. Необходимые для нормальной жизнедеятельности калийные, азотные и фосфорные соединения растения поглощают из почвы с помощью воды в виде содержащихся в ней ионов — K^+ , NO_3^- , NH_4^+ , $H_2PO_4^-$. В обмен с помощью воды из растений в почву поступают другие ионы (H^+ , HCO_3^-) и вещества — продукты жизнедеятельности.

ВОДА КАК ВАЖНЕЙШИЙ РЕГУЛЯТОР КЛИМАТА ЗЕМЛИ. На нагрев и испарение воды затрачивается много энергии, поэтому в жаркое время года вода поглощает определённое количество теплоты, а в холодное — отдаёт. Тем самым она существенно сглаживает температурные колебания. Не будь на Земле воды, температура летом поднималась бы выше $+100\text{ }^\circ\text{C}$, а зимой опускалась бы до $-150\text{ }^\circ\text{C}$. Трудно представить, какими были бы флора и фауна на нашей планете при столь экстремальных температурах.

ВОДА — АБИОТИЧЕСКИЙ ФАКТОР В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ. По отношению к количеству воды, содержащейся в окружающей среде, растения делятся на четыре группы.

Ксерофиты — растения засушливых мест, которые выработали ряд приспособлений, уменьшающих испарение воды листьями. Листья у растений пустынь, полупустынь и засушливых степей очень мелкие и узкие (полынь) или почти отсутствуют (саксаул), иногда они представлены в виде колючек (кактусы). Засухоустойчивые растения имеют также не только жёсткие кожистые листья, но и стебли, которые задерживают испарение (оливковое дерево, олеандр, ковыль). Некото-



Рис. 165. Кактус — растение, обладающее сильно развитой водозапасающей тканью

рые ксерофиты, так называемые эфемероиды, отличаются сезонным снижением жизненной активности. Например, весной или в период дождей тюльпаны, маки, осоки бурно цветут и плодоносят. Засушливое время они проводят в виде покоящихся подземных побегов, а надземные их части полностью отмирают.

Другие представители этой группы растений имеют специальные ткани или клетки, в которых накапливается запас воды. Кактусы (рис. 165) и молочаи запасают воду в стеблях, а агавы и алоэ — в листьях.

Мезофиты — растения лесной и лесостепной зон, почвы которых достаточно увлажнены. К ним относятся все листопадные деревья (рис. 166), кустарники и травы этих зон.

Гигрофиты — растения влажных мест, к которым относятся рис, стрелолист, мхи, ка-



Рис. 166. Листопадные деревья широколиственного леса

мыш, рогоз, папирус, бегония, монстера. Наиболее интересны тропические, образующие мангровые леса растения-гигрофиты. Они произрастают в прибрежных районах Индонезии, Индии, Нигерии, Филиппин и Таиланда, периодически затопляемых морскими приливами.

Растения таких лесов (рис. 167) приспособлены к существованию в зонах постоянных приливов и отливов. Они имеют ходульные корни, позволяющие им закрепляться на зыбких, илистых почвах, а также дыхательные корни, благодаря которым получают влагу из атмосферного воздуха во время отлива.

Гидрофиты — водные растения, значительно или целиком погружённые в воду (кувшинки, лотосы, ряска, элодея). Очень красивое растение наших водоёмов — белая кувшинка, которую в народе называют водяной лилией. Другой цветущий представитель прудов, озёр и заводей — жёлтая кубышка. Самый же прекрасный водный цветок — лотос (рис. 168), он растёт не только в Египте, Индии и Китае, где считается священным, но и у нас в дельте Волги. У гидрофитов слабо развита корневая система и устьица. Созревание плодов, которые напоминают корбочки маков или погремушки для детей, происходит под водой.

ВОДА — АБИОТИЧЕСКИЙ ФАКТОР В ЖИЗНИ ЖИВОТНЫХ. Вода жизненно необходима не только растениям, но и животным. Для многих жи-



Рис. 167. Деревня во влажном экваториальном лесу

вотных это среда обитания (как для типичных жителей морей, океанов и пресных водоёмов, так и для водоплавающих птиц), и они не испытывают в ней недостатка.

Для подавляющего же большинства наземных представителей фауны потребление необходимого для их организма количества воды является проблемой.

Большинство обитателей засушливых мест (пустынь, полупустынь, сухих степей) способны достаточно долго обходиться без воды. Подвижность и выносливость позволяют им мигрировать на большие расстояния в поисках воды. Так ведут себя обитатели африканских саванн (рис. 169): слоны, антилопы, зебры, жирафы. Более привычные для наших широт верблюды, куланы, сайгаки тоже совершают большие переходы в поисках воды.



Рис. 168. Лотос орехоносный

Кроме миграций животные засушливых мест выработали и другие приспособления для регуляции водного баланса. Например, жировые отложения у верблюда в горбах, у грызунов под кожей, у насекомых в жировой ткани позволяют получать воду химическим способом с помощью окисления жира. Густая шерсть верблюда хорошо защищает его от холода и жары, он неприхотлив, пьёт



а



б



в



г



д

Рис. 169. Животные африканских саванн: а — антилопа топи; б — антилопа гну; в — зебра; г — бородавочник; д — чёрный носорог

слоноватую и солёную воду, причём за один раз может выпить до 57 литров.

Многие обитатели засушливых мест ведут ночной образ жизни, избегая тем самым перегрева и избыточного испарения воды, а некоторые, например сурки, могут впадать в летнюю спячку.



В следующем параграфе вы узнаете о других важных природных факторах — о солях и почвах и их значении в жизни растений и животных.

Вы знаете

- ▶ как происходит круговорот воды в природе
- ▶ что вода — колыбель жизни и среда обитания многих живых организмов
- ▶ что вода является основой биохимических процессов и важнейшим участником создания биогеоценозов
- ▶ что вода — важнейший регулятор климата Земли и абиотический фактор в жизни растений и животных

Вы можете

- ▶ объяснить, что такое гидролиз, и показать его роль в обмене веществ и энергии
- ▶ дать определения планктона, нектона и бентоса, привести их примеры
- ▶ рассказать, какие растения называются ксерофитами, мезофитами, гигрофитами и гидрофитами, привести их примеры
- ▶ назвать основные приспособления растений и животных для регуляции водного баланса

Выполните задания

1. Дайте характеристику известных вам типов круговорота воды в природе.
2. Расскажите о роли воды в возникновении жизни на нашей планете. Вспомните основные положения теории А. И. Опарина о происхождении жизни на Земле.
3. Назовите известные вам группы океанических живых организмов, приведите примеры их представителей, опишите их особенности.
4. Перечислите биохимические процессы, в которых участвует вода.
5. Сформулируйте, что такое гигрофиты, гидрофиты, ксерофиты и мезофиты.

Темы для рефератов

1. Вода и формирование биогеоценозов. 2. Вода и климат на планете. 3. Вода в жизни животных. 4. Склерофиты и эфемероиды, их характерные особенности.

§ 30. Соли и почва как абиотические факторы

1. Вспомните природные процессы, происходящие с участием солей.
2. Объясните, что такое плодородие почв.
3. Назовите главные типы почв России.

СОЛИ И ИХ РОЛЬ В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ. Соли — важнейший фактор неживой природы, от которого зависит существование клеток, тканей и любого живого организма. Вы уже знаете, что раство-

римые соли, образованные сильным основанием и слабой кислотой или слабой кислотой и сильным основанием, гидролизуются, обуславливая тем самым кислую или щелочную среду раствора, что имеет немаловажное значение в жизни организмов.

Кроме этого, многие соли играют различную роль в жидких средах или скелетных образованиях животных. Например, плазма крови млекопитающих, как вы знаете, содержит 0,9% жизненно необходимого *хлорида натрия* NaCl . Поэтому копытные животные приходят к солонцам и слизывают выступившую на них соль. Без этой соли немыслима жизнь животных и человека: в крови NaCl создаёт осмотическую среду, необходимую для существования форменных элементов (эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов), в мышцах обуславливает способность к возбудимости, в желудке образует соляную кислоту, без которой невозможно переваривание пищи.

Карбонат кальция CaCO_3 — нерастворимая в воде соль, из которой созданы раковины и скелеты многочисленных морских животных (моллюсков, крабов, коралловых полипов, простейших).

Коралловые полипы — животные, которые в основном живут колониями. Используя растворённый в морской воде карбонат кальция, они формируют известковый скелет. За многие тысячелетия остатки этих скелетов образовали целые горы, вершины которых прячутся под самой поверхностью воды, — это рифы. Иногда рифы возвышаются над волнами и становятся островами — это атоллы, которые часто имеют форму разорванного кольца, окружающего мелководный залив — лагуну. Все коралловые рифы находятся в тёплых морях с равномерной температурой. Избыток света, известняка создаёт благоприятные условия для их роста и развития. Кроме атоллов, встречается и другой вид коралловых сооружений — барьерные рифы. Большой Барьерный риф у берегов Австралии является крупнейшим коралловым образованием в мире. Длина его достигает 2000 км, а площадь — около 25 000 км². Всё это огромное пространство усеяно неисчислимым количеством рифов, островков и мелей.

Раковины простейших и небольших моллюсков и ракообразных, скапливаясь после гибели своих хозяев на дне морей, за десятки и сотни миллионов лет образовали мощные пласты известняков. Из карбоната кальция построены раковины (рис. 170) не только морских, но и пресноводных (перловица, без-

» **Напомним**, что *соли* — это сложные вещества, состоящие из ионов металла (аммония) и кислотного остатка.



Рис. 170. В основе раковин моллюсков лежит карбонат кальция



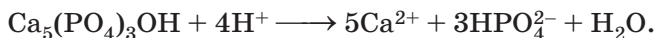
Рис. 171. Жемчужница

зубка), и сухопутных (виноградная улитка) моллюсков. Интересно отметить, что драгоценный жемчуг в своей основе образован карбонатом кальция. Когда между створок раковины моллюска, который так и называется — жемчужница (рис. 171), попадает песчинка, она начинает обволакиваться слоями переливчатого перламутра, выделяемого мантией

моллюска. Слои накладываются друг на друга, и в результате формируется жемчуг.

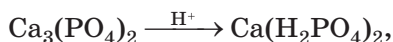
Из карбоната кальция образована скорлупа яиц птиц, черепах, крокодилов.

Из *фосфата кальция* $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ построен скелет наземных животных, составляющих опору для мягких тканей, масса которых в десятки раз превышает массу самой опоры. А из разновидности фосфата кальция — *апатита* $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ создана самая твёрдая ткань тела млекопитающих — эмаль зубов. По твёрдости она идентична кварцу, однако использование пищи, содержащей кислоты, может привести к тому, что катионы водорода начнут вытеснять из апатита ионы кальция:

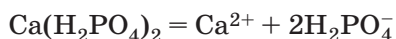


Фосфат кальция и хлорид натрия принадлежат к средним, или нормальным, солям. Не меньшее значение в жизни организмов играют и кислые соли — продукты неполного замещения атомов водорода на металл в молекуле кислоты. Например, гидрокарбонат натрия NaHCO_3 , гидрофосфат натрия Na_2HPO_4 , дигидрофосфат натрия NaH_2PO_4 позволяют поддерживать кислотно-щелочной баланс жидких сред организма, и в первую очередь крови.

У растений образование в почве такой кислой соли, как дигидрофосфат кальция, позволяет осуществлять минеральное питание. Под действием катионов водорода в кислых почвах нерастворимый фосфат кальция превращается в растворимую соль:



которая способна диссоциировать на ионы:



и поступать в клетки растений.

Почвы, содержащие избыточное количество солей (засолённые почвы), неблагоприятны для большинства растений. Такие почвы, как вы уже знаете, характерны для морских побережий, сухих степей, пустынь и полупустынь. На них произрастают *галофиты* — растения, приспособленные к таким экстремальным условиям: солянки, саксаулы, полыни, тамариск, мангровые растения.

ПОЧВА И ЕЁ СОСТАВ. Фактором, который связывает живую и неживую природу и значительно влияет на жизнедеятельность в первую очередь организмов суши, является почва.

Почва — это особое природное образование, сформировавшееся из поверхностных слоёв горных пород под воздействием микроорганизмов, растений и животных, а также климата и воды.

Процесс образования почв происходит так. На голых скалах поселяются микроорганизмы, использующие для жизнедеятельности углекислый газ, воду и атмосферный азот, а также минеральные соединения горной породы. Образующиеся в результате их жизнедеятельности органические кислоты и другие вещества разрушают горные породы и изменяют их химический состав. Далее там поселяются лишайники (симбиоз гриба и водоросли) (рис. 172), неприхотливые к воде и пище, затем мхи и, наконец, высшие растения, которые вместе с животными окончательно завершают процесс почвообразования.



Рис. 172. Ягель — один из видов лишайника

Почва состоит из твёрдой, жидкой, газообразной частей, в которых живут различные организмы.

Твёрдая часть (это от 80 до 98% почвенной массы) состоит из песка, глины, илестых частиц, оставшихся от исходной горной породы. Соотношение этих частиц характеризует механический состав почвы.

Жидкая часть почвы, которая так и называется — *почвенный раствор*, состоит из воды с растворёнными в ней органическими и минеральными соединениями.

Газообразная часть — это воздух, который заполняет поры между комочками почвы. По сравнению с атмосферным воздухом в почвенном содержится больше углекислого газа, а также присутствует метан и другие летучие органические соединения.

К организмам, населяющим почву, относятся микроорганизмы, простейшие, лишайники, грибы, водоросли, живущие в ней беспозвоночные (черви, моллюски, насекомые и их личинки) и роющие позвоночные (кроты, слепыши, грызуны; рис. 173).

Выйдет в поле травка —
Вырастет и колос,
Станет петь, рядиться
В золотые ткани.
Заблестит наш серп здесь,
Зазвонят здесь косы;
Сладок будет отдых
На снопах тяжёлых!

А. Кольцов



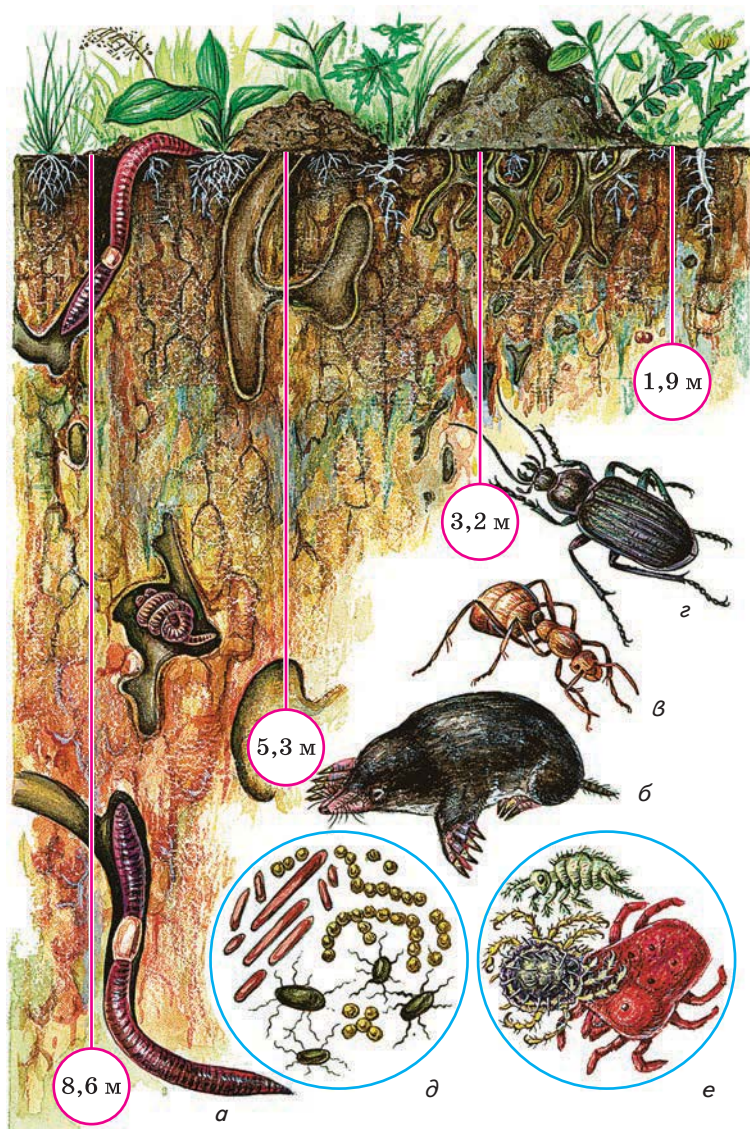


Рис. 173. Почвенные организмы: *а* — дождевые черви; *б* — кроты; *в* — муравьи; *г* — жуки; *д* — почвенные бактерии; *е* — мелкие насекомые, клещи

Почва связывает абиотические факторы, влияющие на живые организмы, в единую систему. Так, от температуры зависит содержание воды в почве, а следовательно, и тип растительности. От типа растительности зависит и видовой состав питающихся ею растительноядных животных, которыми, в свою очередь, кормятся определённые хищники.



Рис. 174.
А. Г. Венецианов.
На пашне. Весна.
1822 г.

С помощью почвы — важнейшего компонента биосферы — реализуются связи живых организмов с литосферой, гидросферой и атмосферой. Например, клубеньковые бактерии, живущие на корнях бобовых растений, связывают атмосферный азот, т. е. превращают его из простого вещества в соединения и запускают тем самым круговорот азота в природе. Аналогично, образуемая при грозах азотная кислота в виде слабых растворов опять-таки поступает в почву, включаясь в этот круговорот.

Важнейшее свойство почвы — это **плодородие**, способность обеспечивать растения питательными веществами и водой, а также условиями для жизнедеятельности. Впервые термины «почва» и «плодородие» ввёл в науку выдающийся русский естествоиспытатель **В. В. Докучаев** (1846—1903), основоположник науки о почвах — почвоведения.

Почвоведение тесно связано с **земледелием** (рис. 174)— одной из основных отраслей сельскохозяйственного производства, основанной на рациональном использовании земли для выращивания сельскохозяйственных культур. Главными задачами земледелия являются получение наибольшего урожая растительной продукции желаемого качества и повышение плодородия почв.



Василий Васильевич
Докучаев

Повышения и сохранения плодородия почв можно добиться *физическими, химическими и биологическими способами*.

К физическим способам относятся механическая обработка почвы (вспашка, рыхление, выравнивание) и мелиоративные мероприятия (осушение, орошение). В результате изменения строения пахотного слоя создаются более благоприятные условия для роста и развития растений: лучше поступает влага и воздух к корням растений, регулируется теплообмен.

Химические способы направлены на увеличение содержания в почве элементов питания, доступных для растений, путём внесения минеральных удобрений (азотных, калийных, фосфорных).

Биологические способы предполагают использование органических удобрений и севооборот (чередование посева сельскохозяйственных культур). Органические удобрения при разложении образуют минеральные вещества, а также способствуют развитию почвенных бактерий и микроорганизмов. Севооборот, в свою очередь, помогает поддерживать баланс питательных веществ в почве.



В следующем параграфе будет рассказано о формах взаимодействия живых организмов в природе.

Вы знаете

- ▶ какова роль солей в жизни растений и животных
- ▶ что такое почва и каков её состав
- ▶ какие организмы населяют почву
- ▶ что важнейшее свойство почвы — это плодородие
- ▶ что такое земледелие
- ▶ как можно повысить плодородие почвы

Вы можете

- ▶ рассказать, какие вещества называются солями и на какие группы они делятся по своему составу
- ▶ перечислить соли, из которых формируются коралловые рифы, раковины моллюсков, скелет и эмаль зубов млекопитающих
- ▶ объяснить, что такое почва и как она образуется
- ▶ описать взаимодействие организмов, населяющих почву

Выполните задания

1. Объясните, почему нужно соблюдать кислотно-щелочной баланс жидких сред организма. Какие соли этому способствуют?
2. Расскажите, как осуществляется минеральное питание растений.

3. Проанализируйте, почему почва является важнейшим компонентом биосферы и как с её помощью происходит взаимосвязь живых организмов с гидросферой и атмосферой. Приведите примеры.
4. Аргументируйте своё предпочтение выбранному способу повышения плодородия почвы.

☉ Темы для рефератов

1. Соли в жизни растений и животных. 2. Почва — мостик между живой и неживой природой. 3. Жизнь и научная деятельность В. В. Докучаева. 4. Засоленные почвы и растения-галофиты.

§ 31. Биотические факторы

1. Дайте краткую характеристику животных — хищников и паразитов.
2. Вспомните, с какими растениями-паразитами вы знакомились в курсе ботаники.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОРГАНИЗМОВ В ПРИРОДЕ. В любом биоценозе населяющие его организмы влияют на жизнедеятельность друг друга.

Биотические факторы — это всевозможные формы влияния живых организмов друг на друга и на среду обитания.

В природе между живыми организмами существуют разные типы взаимодействий.

Комменсализм (от *лат.* commensalis — сотрапезник) — форма существования организмов двух видов, при которой организмы одного вида извлекают пользу, не нанося вреда организмам другого вида. Например, рыбы-прилипалы (рис. 175) прикрепляются к крупным рыбам, морским черепахам и китам, не только используя их как транспортное средство для передвижения на большие расстояния, но и питаясь остатками их пищи.

Некоторые мелкие коралловые рыбки находят себе убежище между жгучими щупальцами актинии. Тело рыбок покрыто защитной слизью, которая предо-

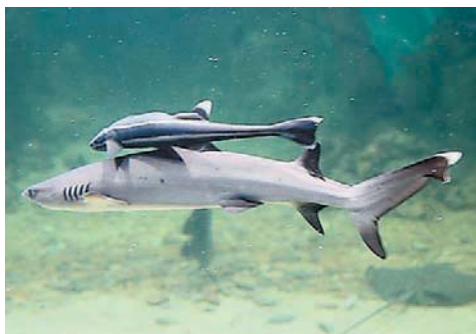


Рис. 175. Рыба-прилипала со своим хозяином — акулой

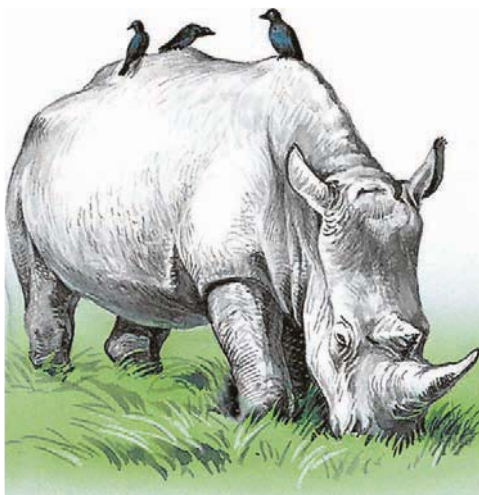


Рис. 176. Птицы, склёвывающие насекомых на коже носорога



Рис. 177. Орхидея

храняет от опасных прикосновений, поэтому они могут спокойно прятаться в этом надёжном убежище и питаться остатками еды хозяина. Аналогично прячутся под колоколом медуз мальки ставриды.

Некоторые птицы в саваннах Африки находят себе корм на шкурах бегемотов, носорогов (рис. 176), буйволов, спокойно разгуливая по их спинам и склёвывая назойливых насекомых.

Красивейшие из цветов — орхидеи (рис. 177) — яркий пример комменсализма. Они относятся к группе растений, которые называются *эпифитами*, т. е. не имеющими связи с почвой. Они прикрепляются к стволам или ветвям деревьев, а питательные вещества улавливают прямо из воздуха. Растут эпифиты очень медленно, и бывает, что изящному цветку столько же лет, сколько могучему дереву, на котором он живёт. Кроме орхидей к эпифитам относятся некоторые папоротники и кактусы.

Мутуализм (от *лат. mutuus* — обоюдный) — взаимовыгодная связь между организмами разных видов, при которой они иногда даже не могут существовать друг без друга. Наиболее яркий пример такого сосуществования — тесная ассоциация корня растения и гриба, называемая *микоризой*. За счёт микоризы растение увеличивает всасывающую поверхность. Грибы улучшают снабжение высших растений водой, витаминами, стимулирующими рост корней, разлагают вещества, переводя их в доступную для растений форму. В свою очередь, растения обеспечивают гриб растворимыми углеводами, снабжающими грибы необходимой для жизнедеятельности энергией. Взаимовыгодное сожительство наблюдается у бобовых растений с клубеньковыми бактериями.

Интересен мутуализм у цветковых растений и опыляющих их насекомых или птиц: шмелей и клевера, тропических цветковых растений и колибри и т. д. В желудке у крупного рогатого скота (коров, буйволов) существуют, как вы помните, микробы, помогающие им переваривать целлюлозу растительной пищи. Полезные микробы живут и в кишечнике человека, их недостаток приводит к очень серьёзному заболеванию — дисбактериозу.

Аменсализм (от *лат.* mensa — трапеза) — это такой тип взаимоотношений между организмами, при котором один вид подавляет другой, не получая при этом ни пользы, ни вреда.

Так, например, ель угнетает светолюбивые травянистые растения, растущие под ней, хотя для самой ели это не играет никакой роли. Тоже самое происходит в любом лесу, где каждый вышестоящий ярус подавляет жизнедеятельность растений нижестоящих ярусов.

Классическим примером **протокооперации** (взаимовыгодных отношений между организмами разных видов, встречающихся как вместе, так и порознь) является содружество двух морских животных — рака-отшельника и актинии (рис. 178). Рак находит пустую раковину моллюска, прячет в неё тело и выставляет наружу сильные клешни и голову. Стоит какой-нибудь рыбке неосторожно приблизиться, и она тут же становится добычей рака. Передвигаясь по дну, он таскает свой домик на спине и очень часто вместе с наездницей — актинией. Пристроив на раковину актинию, рак получает надёжного защитника, а актиния, часто меняя место жительства, обеспечивает себя богатой добычей и кормится остатками пищи рака.

И комменсализм, и мутуализм, и аменсализм, и протокооперация являются формами **симбиоза** (от *греч.* symbiosis — сожительство) — тесного сосуществования разных видов.

ПАРАЗИТИЗМ, ХИЩНИЧЕСТВО И КОНКУРЕНЦИЯ. Если вышеописанные формы сосуществования безразличны или выгодны организмам, то для паразитизма и хищничества характерен совсем другой тип взаимоотношений.



Рис. 178. Актиния, сидящая на раковине рака-отшельника

Паразитизм (от *греч.* parasites — нахлебник) — форма взаимоотношений организмов, когда один из них существует за счёт другого. Первый называется паразитом, а второй хозяином.

Хозяин предоставляет паразиту «и стол и дом», т. е. питательные вещества и среду обитания. Явление паразитизма многообразно. Обычно паразитов делят на две группы: эктопаразиты и эндопаразиты.

Эктопаразиты живут на поверхности тела хозяина.

К *растениям-эктопаразитам* относятся, например, омела, паразитирующая на некоторых лиственных деревьях в умеренной зоне; заразиха, прикрепляющаяся к корням растений; повилика; большинство тропических лиан. В свою очередь, на лианах паразитирует самый экзотический представитель растений-эктопаразитов — раффлезия. У неё самый крупный цветок на Земле, достигающий в диаметре 1 м и весящий до 15 кг. У растений-паразитов отсутствуют некоторые органы. Так, та же раффлезия утратила корни и листья, а у нашей повилики (рис. 179) они почти полностью исчезли.



Рис. 179. Повилика на клевере

Животные-эктопаразиты — это некоторые насекомые (вши, рис. 180; блохи, рис. 181), клещи, ракообразные. Особую группу составляют примитивные грибы, которые вызывают грибковые заболевания (например, стригущий лишай и другие формы микозов).

Эндопаразиты живут внутри тела хозяина.

Среди паразитов высших растений преобладают вирусы, бактерии и низшие грибы. Они могут стать причиной таких болезней, как мучнистая роса, парша, серая гниль, фитофтора, головня.

Многие болезни вызываются многочисленными вирусами, бактериями, простейшими, паразитическими червями и другими организмами.

Наиболее известны черви-паразиты, обитающие внутри тела хозяина, — *гельминты*. Их изучает специальный раздел биологии — *гельминтология*, основоположником которой является *К. И. Скрябин* (1878—1972).

Черви-паразиты: аскарида, острица, бычий и свиной цепень, эхинококк и другие — прекрасно приспособлены к существованию. У них отсутствуют или слабо развиты пищеварительная, дыхательная, кровеносная системы. Зато сильно развиты покровы, позволяющие существовать в среде пищеварительных соков хозяина, и половая система (например, самка аскариды откладывает до 200 тысяч яиц в день), а также целый ряд при-



Рис. 180. Вошь



Рис. 181. Блоха

способлений для того, чтобы удерживаться в теле хозяина (присоски, крючки и т. п.).

За счёт паразитизма некоторые осы проявляют заботу о потомстве. Так, они парализуют добычу (гусеницу), затаскивают в норку и откладывают в неё яйцо. Вылупившаяся личинка надолго обеспечена питанием. Отгрызая от парализованной, но живой гусеницы по кусочку, она развивается и растёт.

Интересен паразитизм у кукушки, которая подкладывает свои яйца в гнёзда других птиц, вынуждая их выкармливать чужих птенцов.

Поскольку паразит питается за чужой счёт, зачастую ему бывает невыгодна смерть хозяина, что и отличает паразитизм от хищничества.

Хищничество — форма взаимоотношений организмов, при которой представители одного вида убивают и поедают представителей другого.

Казалось бы, жертва — это пострадавшая сторона, однако в природе не всё так просто. Хищники, как правило, нападают на более слабых или больных животных, тем самым сохраняя их популяцию. Например, истребление волков в Канаде и США привело к резкому ухудшению состояния популяции северных оленей. Таким образом, хищники служат своеобразными регуляторами природных экосистем. В свою очередь, колебания численности жертвы влияют на колебания численности хищников. Например, на следующий год после массовых размножений леммингов увеличивалась численность популяции белой полярной совы.

У растений также известно явление хищничества. Яркие представители растений-хищников — насекомоядные растения: венерина мухоловка, росянка, пузырчатка (рис. 182).

Росянка — небольшое растение красновато-зелёной окраски. На каждом листочке у неё волоски с головками, в которых имеется железа, выделяющая блестящую капельку слизи (отсюда и название). Привлечённые сладкой капелькой, насекомые прилипают к волоскам, лист сворачивается, и росянка переваривает добычу.

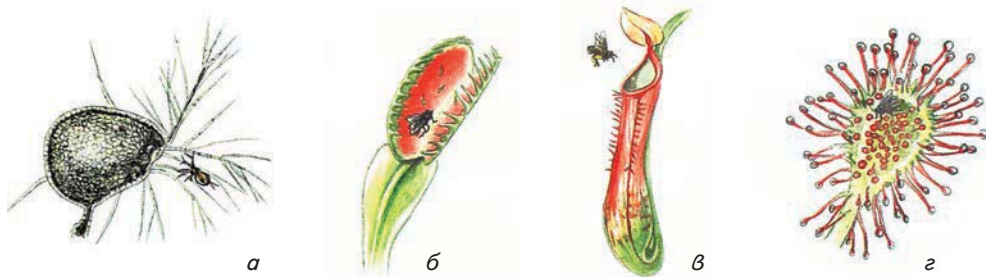


Рис. 182. Ловчие аппараты хищных растений: а — пузырчатки обыкновенной; б — венериной мухоловки; в — непентеса гибридного; г — росянки

Конкуренция (от *лат.* concurrentia — сталкиваться) — соперничество между организмами со сходными потребностями за доминирование, за пищу, территорию и другие условия существования.

Различают внутривидовую и межвидовую конкуренцию.

Внутривидовая конкуренция бывает особенно острой, так как особи одного вида используют одинаковые ресурсы. Птицы могут соперничать за место для гнездования, тюлени и моржи — за самку. Аналогично борются за право продолжить род олени, лоси, бараны, козлы.

Межвидовая конкуренция — тип взаимоотношений, возникающий у двух близких видов со сходными потребностями в условиях существования. Например, в Европе из жилищ человека более крупная и агрессивная серая крыса вытеснила чёрную. Поэтому чёрная крыса теперь живёт в степных и пустынных районах. Конкуренция хвойных растений — ели и сосны — заканчивается победой ели, так как её всходы лучше развиваются под защитой сосны, всходы которой гибнут под тенью еловой кроны.



Все живые существа на нашей планете подчиняются течению времени, у всех есть свои биологические часы, физиологические и экологические ритмы. И этой теме мы посвятим следующий параграф.

Вы знаете

- ▶ что такое биотические факторы
- ▶ чем характеризуются паразитизм, хищничество и конкуренция
- ▶ что представляют собой эктопаразиты и эндопаразиты

Вы можете

- ▶ называть типы взаимодействий между живыми организмами
- ▶ объяснять, какие типы взаимоотношений между организмами называются конкуренцией, хищничеством, паразитизмом
- ▶ сформулировать, что такое симбиоз и каковы его разновидности

Выполните задания

1. Дайте определение биотических факторов.
2. Объясните, в чём суть комменсализма и мутуализма. Приведите примеры растений и животных, взаимодействующих между собой по этому типу.
3. Сравните хищничество и паразитизм. Приведите примеры растений и животных, взаимодействующих между собой по этому типу.
4. Расскажите о конкуренции с позиции естественного отбора.

1. Симбиоз и эволюция. 2. Сады дьявола: разгадка тайны амазонских лесов. 3. Опёнок и трутовик — грибы-паразиты. 4. Чага: чудесные целительные свойства берёзового паразита. 5. Плотноядные растения. 6. Жизнь и деятельность академика К. И. Скрябина.

§ 32. Жизнь и время. Биоритмы

1. Поясните, как вы понимаете понятия «пространство» и «время».
2. Покажите на примерах, как животные и растения реагируют на смену дня и ночи.
3. Объясните, каких людей называют «жаворонками» и каких — «совами» и почему.

РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О ПРОСТРАНСТВЕ И ВРЕМЕНИ. Живые организмы и их сообщества живут на нашей планете в пространстве и во времени.

Ньютон ввёл в науку понятие **абсолютного пространства**. Согласно представлениям учёного, абсолютное пространство остаётся всегда неподвижным и одинаковым. Оно существует само по себе, безотносительно к чему бы то ни было внешнему, например к тем телам, которые в нём находятся.

Абсолютное пространство является однородным, изотропным и евклидовым.

Однородность пространства означает, что все его точки равноправны, поэтому результаты какого-либо эксперимента не зависят от выбора места его проведения при одинаковых начальных условиях.

Изотропность пространства означает, что при повороте выбранной системы отсчёта на некоторый угол не произойдёт изменений в результате измерений. Иными словами, в пространстве нет какого-то выделенного направления, все направления равноправны.

Если пространство является **евклидовым**, это означает, что оно не искривлено и при изучении движения можно использовать прямоугольную систему координат.

Вместе с понятием абсолютного пространства Ньютон ввёл понятие **абсолютного времени**, наделённого свойством однородности. *Однородность времени* означает, что все моменты времени равноправны, поэтому результаты эксперимента не зависят от выбора времени его проведения при одинаковых начальных условиях.

Время в классической физике существует само по себе, отдельно от пространства и любых материальных объектов. Время как длительность одинаково определяет ход процессов в мире. Все они, независимо от их сложности, не оказывают никакого влияния на ход времени.

В классической механике пространство и время считаются независимыми друг от друга.

Следующим этапом в развитии представлений о пространстве и времени стала **специальная теория относительности (СТО)**, созданная в 1905 г. Эйнштейном.

Существенное отличие СТО от классической механики состоит в том, что по этой теории время не является абсолютным, т. е. единым для всех систем отсчёта. В СТО *время относительно*. Это значит, что любое событие, происходящее в разных системах отсчёта, имеет не только разные пространственные, но и разные временные координаты. Каждая система отсчёта имеет свои часы.

Ещё одна особенность представлений о пространстве и времени в СТО — их связь. Если в классической физике пространство и время рассматривались независимо друг от друга, то в СТО положение тела определяется тремя пространственными координатами x , y , z и четвёртой временной координатой t . Таким образом, вместо разобщённых пространственных координат и времени теория относительности рассматривает *четырёхмерный мир физических событий*, который часто называют миром *Г. Минковского* (1864—1909), немецкого математика и физика, предложившего это понятие.

Ещё одним этапом в развитии представлений о пространстве и времени следует считать создание Эйнштейном **общей теории относительности (ОТО)** — физической теории пространства-времени и тяготения. Эта теория была опубликована учёным в 1915—1916 гг. В её основе лежит принцип эквивалентности гравитационной и инертной масс и предположение о существовании связи между массой и вызываемыми ею гравитационными эффектами.

В классической механике существуют два понятия массы: *инертная масса* и *гравитационная масса*. Из второго закона Ньютона следует, что инертная масса является отношением силы (F), действующей на тело, к его ускорению (a): $m = \frac{F}{a}$. Понятие гравитационной массы следует из закона всемирного тяготения: $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$, где m_1 и m_2 — массы тел, r — расстояние между ними, G — гравитационная постоянная. Гравитационная масса определяет силу притяжения тела другими телами и его собственную силу притяжения.

В рамках ОТО, развивающей специальную теорию относительности, утверждается, что гравитационные эффекты вызываются не силовым взаимодействием тел и полей, находящихся в пространстве-времени, а являются проявлениями деформаций самого пространства

времени, вызываемых присутствием массы.

Если в классической механике и СТО рассматривались свойства пространства и времени, а в СТО и их взаимосвязь, то в общей теории относительности — *взаимосвязь пространства, времени и массы*. Она заключается в том, что любое тело вызывает искривление пространства и именно его искривление вызывает гравитационное притяжение тел.

Таким образом, по мере накопления научных фактов, развития экспериментальной базы и математических методов исследования происходит расширение и углубление представлений о пространстве и времени: от абсолютного пространства и времени до пространства и времени, связанных между собой и с материей. При этом важно, что новые и старые теории связаны принципом соответствия — важнейшим общенаучным принципом, согласно которому новая теория не отбрасывает старые, а включает их в себя как частный случай.

Для *измерения времени* используют повторяющиеся физические процессы — вращение Земли вокруг Солнца, излучение света атомами. Между двумя повторениями таких процессов проходит одинаковый промежуток времени, который можно использовать в качестве эталона и измерять с его помощью время. Учёные располагают не одним эталоном, а целым набором самых разных по своей природе физических процессов. Сейчас наиболее точный эталон времени — атомные часы, работа которых основана на измерении частоты световых волн, излучаемых атомами. Кремлёвские куранты соединены подземным кабелем с контрольными часами Астрономического института имени П. К. Штернберга и показывают точное время (рис. 183).

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ЧАСЫ, ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИТМЫ. Мир живой природы на всех уровнях своей организации циклически изменяется, подчиняясь течению времени, которое отмеряет на своих собственных биологических часах.



Рис. 183. Часы на Спасской башне Московского Кремля

Биологическими часами называется присущее каждому живому существу чувство времени и циклические изменения, которые периодически повторяются в живых системах: в отдельных клетках, тканях и органах, в целых организмах и популяциях. Такие изменения, как вы знаете, называются **биологическими ритмами** или биоритмами. Они сформировались в процессе приспособления живых систем к периодически меняющимся условиям окружающей среды — к ритмам, существующим на нашей планете. Внутренние часы на всех уровнях временной организации живого мира постоянно согласовываются с внешними датчиками времени. В роли последних могут выступать свет, колебания температуры, влажности, атмосферного давления и т. п., — всего около 40 факторов.

Любая живая система пронизана ритмами, которые имеют разное происхождение и выполняют различные функции. Можно выделить два типа биоритмов: физиологические и экологические.

Физиологические ритмы имеют, как правило, периоды от долей секунды до нескольких секунд: ритмы дыхания, биения сердца, артериального давления и др.

Экологические ритмы по длительности совпадают с каким-нибудь естественным ритмом окружающей среды. К ним относят суточные, сезонные (годовые), приливные и лунные ритмы. Благодаря экологическим ритмам организм ориентируется во времени и заранее готовится к ожидаемым изменениям в окружающей среде.

Основной земной ритм — **суточный**, который обусловлен вращением Земли вокруг своей оси. Суточный ритм цветов использовал великий шведский учёный *К. Линней* (1707—1778), создав в саду цветочные часы: в 4 часа утра распускались цветки цикория и шиповника, в 5 часов — мака, в 6 — одуванчика и полевой гвоздики, в 7 — колокольчика и огородного картофеля, в 8 — бархатцев и вьюнков, в 9—10 — мать-и-мачехи и ноготков, в 11—12 часов раскрывались цветки пассифлоры и закрывались — осота и полевой гвоздики. Далее



Рис. 184. Пчёлы за работой

закрывались цветки одуванчиков, в 8 часов вечера начинали издавать аромат цветки душистого табака и, позднее, ночной фиалки и горицвета.

Суточному ритму подчиняется и рабочий день пчёл (рис. 184). Они появляются на гречишном поле именно тогда, когда цветки наполняются нектаром, и исчезают, когда нектар в цветах перестаёт выделяться.

Суточный и сезонный ритм лежит в основе и такого важного явления в мире растений и животных, как фотопериодизм.



Рис. 185. Бурундук в состоянии зимней спячки

Фотопериодизм — это соотношение между продолжительностью светлого и тёмного времени суток, лежащее в основе суточной или сезонной активности растений и животных.

Фотопериодизму подчиняется перелёт птиц, он является сигналом к началу периода покоя у животных, которые впадают в спячку (рис. 185), определяет сезонные линьки и периоды размножения у зверей. В сельском хозяйстве фотопериодизм играет большую роль. Например, удлиняя день за счёт искусственного освещения, можно повысить яйценоскость кур, гусей и уток, удой молока у коров.

Рис. 186. Георгин (а) и хризантемы (б) — растения короткого дня; нарциссы (в), тюльпаны (г) и гортензия (д) — растения длинного дня



Наиболее изучен фотопериодизм у растений, которые по продолжительности дня, благоприятного для их развития, делятся на растения длинного и короткого дня (рис. 186). *Растениям длинного дня* для нормального роста и развития нужно больше 12 часов света. К ним относятся морковь, редис, лук, овёс, лён. *Растениям короткого дня* необходимо не менее 12 часов непрерывной темноты. К ним относятся шпинат, капуста, георгины, хризантемы.

ЛУННЫЕ (ПРИЛИВНЫЕ) РИТМЫ. Приливы и отливы обусловлены лунным притяжением и в большинстве регионов происходят дважды на протяжении лунных суток (период времени между двумя последовательными восходами Луны). Поэтому у прибрежных морских животных часто наблюдаются приливные ритмы, связанные с периодическим подъёмом и спадом воды. Так как Луна движется вокруг Земли в том же направлении, что и наша планета вокруг собственной оси, лунные сутки примерно на 50 минут длиннее солнечных, т. е. приливы наступают каждые 12,4 часа. Аналогичный период наблюдается и у приливных ритмов. Например, рак-отшельник прячется от света в отлив и выходит из тени в прилив, с наступлением прилива устрицы приоткрывают свои раковины, а актинии разворачивают свои щупальца.

Биологические часы человека показывают, что в разное время суток мы по-разному чувствуем себя, работаем, мыслим, творим. Например, между первым и четвёртым часом ночи температура тела у человека самая низкая, он отдыхает (спит), а потому у него замедлены все биохимические процессы.

В разное время суток у человека разные острота зрения, интенсивность кровообращения и дыхания, активность мозга, восприимчивость к боли и психологическим травмам. Тем не менее и эти изменения у разных людей различны. Так, Л. Н. Толстой писал все свои произведения с 9 до 15 часов, а Д. И. Менделеев отдавал предпочтение ночи.

Первый тип людей, активных в дневное время суток, которые рано ложатся спать и рано встают, называют «*жаворонками*». Второй тип людей, активных в ночное время, которые поздно ложатся и поздно встают, называют «*совами*».

Очевидно, что при выборе профессии этот фактор должен учитываться.



Мы знаем: время растяжимо.
Оно зависит от того,
Какого рода содержимым
Вы наполняете его.

Бывают у него застои,
А иногда оно течёт
Ненагружённое, пустое,
Часов и дней напрасный счёт.

Пусть равномерны промежутки,
Что разделяют наши сутки,
Но, положив их на весы,
Находим долгие минутки
И очень краткие часы.

С. Маршак

Недаром Л. Н. Толстой утверждал: «Каждый взрослый человек имеет свой разумный ритм согласованных с его возможностями и потребностями движений, и с этого ритма его сбивать не надо, иначе, если его всё время торопить и подгонять, то он не то что больше не сделает, но не делает и того, что у него раньше выходило».

При нарушении согласованности ритмов, которых у человека обнаружено более 100, наступает **дисинхронизм** — заболевание, связанное с нарушением суточного ритма. Это бывает, например, у лётчиков, спортсменов при перелётах через несколько часовых поясов, когда приходится привыкать к новому временному распорядку. Дисинхронизм вызывается также нарушением режима дня, если человек привыкает смотреть ночные телевизионные программы и спать днём. Однако человеку, как социальному существу, присуще индивидуальное чувство времени, которое зависит от жизненных ситуаций.

Экологические ритмы (рис. 187—189) устойчивы и сохраняются даже при отсутствии соответствующих изменений в окружающей среде. Лиственные деревья умеренных и высоких широт на зиму сбрасы-



Рис. 187. А. К. Саврасов.
Грачи прилетели. 1879 г.



Рис. 188.
И. И. Шишкин.
Рожь. 1878 г.



Рис. 189.
И. И. Левитан.
Золотая осень.
1895 г.

вают листья. Яблони и груши сохраняют сезонную периодичность сбрасывания листьев и при выращивании их в тропиках, где никогда не бывает морозов, а панцирные моллюски открывают створки раковин широко и в аквариумах, как во время морских приливов.

Особую роль в организации и регулировании суточных и сезонных биоритмов играет Солнце. Оно посылает на нашу планету не только свет и тепло, но и радиоволны, и поток протонов — положительно заряженных частиц, который называется солнечным ветром. Активные процессы на Солнце (образование пятен и факелов (вспышек)) влияют на атмосферу и магнитное поле Земли. Во время магнитных бурь возможно ухудшение радиосвязи, спутниковой связи. Наблюдения астрономов за последние двести лет показали, что среднегодовое количество солнечных пятен и площадь, которую они занимают, изменяются с периодичностью около 11 лет. Возмущения на Солнце отражаются на всей земной биосфере.



И последнее, о чём мы поговорим в этой, теоретической, части учебника, — об обмене информацией в живых системах на самых разных уровнях.

Вы знаете

- ▶ как происходило расширение и углубление представлений о пространстве и времени
- ▶ какие теории легли в основу изучения свойств пространства и времени
- ▶ что такое биологические часы, физиологические и экологические ритмы

Вы можете

- ▶ сформулировать, что такое биоритмы, назвать их типы
- ▶ дать определение фотопериодизма, привести примеры фотопериодизма у растений и животных
- ▶ описать, что представляют собой лунные (приливные) ритмы
- ▶ объяснить, кого образно называют «жаворонками», кого — «совами»

Выполните задания

1. Перечислите известные вам приборы для измерения времени. Назовите повторяющиеся физические процессы, которые используют для измерения времени. Каким понятием — абсолютного или относительного времени, — пользуются в своей работе историки и археологи?
2. Объясните, в чём основное различие представлений о пространстве и времени в классической механике в СТО и ОТО.
3. Приведите примеры биологических ритмов, присущих клеткам, тканям и органам, организмам и популяциям.

Темы для рефератов

1. Хронобиология: её история и достижения.
2. История изменения времени и часовых поясов в Советском Союзе и в современной России.
3. Секреты биологических часов человека: у «жаворонков» и «сов».

§ 33. Обмен информацией

1. Объясните, что понимается под информацией.
2. Перечислите известные вам способы передачи и получения информации.
3. Назовите органы чувств человека и животных, проведите сравнительный анализ.

ЗНАЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ. ОБМЕН ИНФОРМАЦИЕЙ В ЖИВЫХ СИСТЕМАХ. Современный мир характеризуется непрерывным потоком информации. Известно, что объём научной информации в отдельных отраслях знаний удваивается каждые пять лет, поэтому умение ориентироваться в ней становится признаком интеллекта, квалификации

человека и в конечном счёте — его успешности в жизни. По данным ЮНЕСКО, за последние 25 лет выпущено столько же книг, сколько за предыдущие 500 лет! Учёные, тратя на поиски и просмотр необходимой информации до 50% рабочего времени, в состоянии ознакомиться не более чем с 10—12% публикаций, вышедших за год даже по самой узкой проблеме! Известный тезис — «кто владеет информацией, тот владеет миром» — как нельзя лучше отражает роль информации в современном мире.

Мы уже подчёркивали, что существенной характеристикой живого является его обмен с окружающей средой веществами, энергией и информацией. О первых двух обменах мы говорили в предыдущих параграфах. В этом параграфе рассмотрим, что понимается под обменом информацией в живых системах.

Обмен информацией — это процесс получения, переработки живой системой информации из окружающей среды и передачи ей собственной информации.

Он может происходить на различных уровнях в полном соответствии с уровнями организации живого на нашей планете: молекулярном, клеточном, тканевом, организменном, популяционно-видовом, биогеоценотическом, биосферном.

МОЛЕКУЛЯРНЫЙ И КЛЕТОЧНЫЙ УРОВЕНЬ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ. На молекулярном уровне наибольшее значение имеет процесс передачи и получения генетической информации, так как он лежит в основе наследственности. Происходит это в соответствии с принципом **комплементарности (дополнительности)**. Как вы помните из курса биологии, при самоудвоении (редупликации; рис. 190) двойной спирали ДНК — одна её цепь — материнская — является матрицей, на которой синтезируется дочерняя цепь: против аденинового нуклеотида за счёт водородных связей выстраивается тиминовый, против гуанинового —

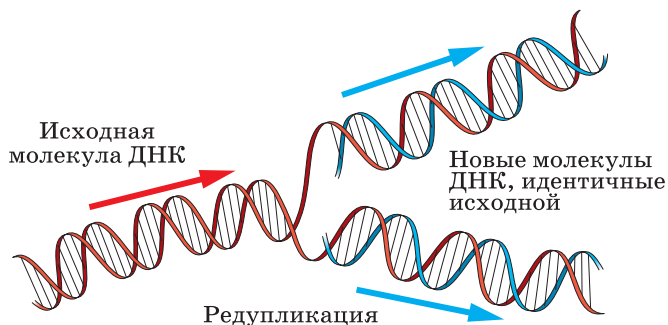


Рис. 190. Редупликация ДНК

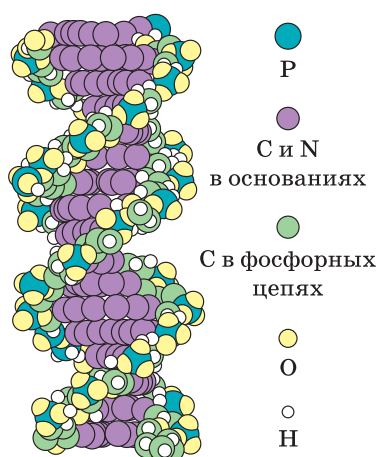


Рис. 191. Строение молекулы ДНК

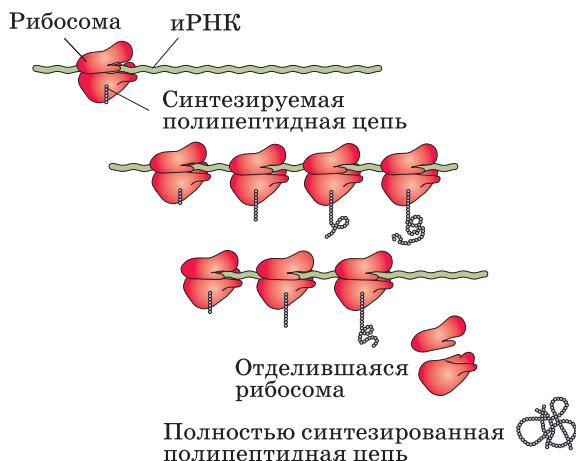


Рис. 192. Биосинтез белка

цитозинный. Аналогично происходят транскрипция — переписывание информации с ДНК (рис. 191) на информационную РНК (иРНК) и трансляция — передача информации с иРНК на синтезируемый белок (рис. 192). Недаром такие реакции называют **реакциями матричного синтеза**: информация одной матрицы используется для образования множества копий. Сбой в передаче информации также имеет большое биологическое значение — он может привести к появлению мутации — нарушению наследственного материала, т. е. к *изменчивости*. И не только. Все биохимические реакции протекают, как вы знаете, с помощью биологических катализаторов белковой природы — *ферментов*. Каждый фермент, как правило, ускоряет только свою реакцию, потому что в нём заключена информация о том, какие именно молекулы он должен катализировать в биохимическом процессе. Напомним ещё раз образную модель: катализатор подходит к этим молекулам, как ключ к замку, который он открывает.

Информация на *клеточном уровне* лежит в основе такого явления, как **фагоцитоз** (рис. 193) — процесс захватывания и переваривания чужеродных частиц, в том числе и болезнетворных микробов. Этот процесс был открыт известным русским биологом

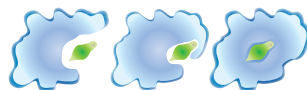


Рис. 193. Фагоцитоз: амёба, поглощающая эвглену



Илья Ильич Мечников

И. И. Мечниковым (1845—1916), удостоенным Нобелевской премии. Фагоциты — особые клетки. Переваривание захваченных частиц нужно им не для питания, а для защиты организма. У личинок морских звёзд фагоциты блуждают по всему телу и, получая информацию о попавших в него чужеродных частицах, захватывают их и уничтожают. У человека фагоцитоз присущ лейкоцитам — белым кровяным тельцам, играющим большую роль в иммунной системе организма. **Иммунитет** (от лат. *immunitas* — освобождение, избавление от чего-либо) — это невосприимчивость к инфекционным заболеваниям.

ТКАНЕВЫЙ И ОРГАНИЗМЕННЫЙ УРОВЕНЬ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ. На тканевом уровне информация, например, определяет широко известный феномен несовместимости тканей. Нередко блестяще выполненная хирургическая операция по пересадке органов заканчивается неудачей: ткани больного, которому был пересажен здоровый орган, получают информацию, что в организме присутствует чужая ткань, и отторгают её. Такая тканевая несовместимость является реакцией на чужеродные белки (антигены). В современном научном мире всё большее значение приобретает проблема выращивания органов для пересадки из стволовых клеток больного.

На организменном уровне обмен информацией с окружающей средой происходит с участием органов чувств и нервной системы. В основе такого обмена лежит рефлекторная деятельность.

Рефлексы — ответные реакции организма на внешние и внутренние раздражения, осуществляемые при помощи нервной системы.

У позвоночных животных это раздражение от рецепторов поступает к головному или спинному мозгу, где полученная информация перерабатывается. В результате возникает ответный сигнал мозга, который по нерву передаётся мышцам или органам. На этом пути, который на-

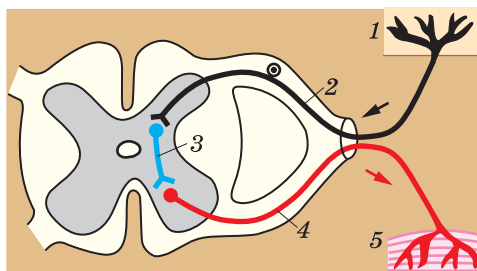


Рис. 194. Схема рефлекторной дуги: 1 — рецептор; 2 — центроостремительный нейрон; 3 — центральный нейрон; 4 — центробежный нейрон; 5 — мышца

зывается рефлекторной дугой (рис. 194), взаимодействуют два фактора: *физический* (нервный импульс не что иное, как волна возбуждения — изменение электрического потенциала по нервному волокну) и *химический* (передача сигнала между клетками происходит с помощью активных химических молекул).

Органами чувств называют специализированные образования, состоящие из рецепторов,



Рис. 195. Сова сипуха
с добычей



Рис. 196. Дельфины

проводящих путей и соответствующих зон коры больших полушарий головного мозга. Выдающийся русский физиолог *И. П. Павлов* (1849—1936) назвал их **анализаторами**.

У представителей животного мира эти анализаторы очень развиты или имеются особые органы чувств. Например, совы (рис. 195) способны улавливать разницу во времени прихода звука в правое и левое ухо. Поэтому они устанавливают точное местонахождение источника звука с достоверностью до 1° . Слепшие совы могут охотиться, отыскивая грызунов по самым слабым шорохам.

Рыбы и некоторые земноводные используют такой орган чувств, как *боковая линия*, реагирующая на малейшие движения воды. С помощью боковой линии рыбы определяют размер приближающегося животного, его местонахождение и скорость перемещения. Во время движения они создают волны, которые, отразившись от встречных предметов, информируют рыб о них. Например, боковая линия позволяет акулам ощущать добычу более чем за 300 м.

Летучие мыши и дельфины (рис. 196) издают не слышимые человеком ультразвуковые сигналы, которые отражаются от встречных предметов и приносят информацию о них. У летучих мышей, которые охотятся на мелких, быстро летающих насекомых, эти ультразвуки обладают большой интенсивностью. У одних видов они короткие, длительностью всего 1 мс, у других длинные — до 20—30 мс. С помощью длинных ультразвуков легче обнаружить добычу издалека, а с помощью коротких — охотиться на более близкую добычу. Так как вода проводит звук в 4 раза быстрее, чем воздух, и на большие расстояния, дельфины с помощью эхолокации определяют расстояние до встречных объектов, их величину, форму и даже внутреннее устройство (ведь ультразвук способен распространяться и в твёрдых телах). С помощью ультразвука летучие мыши и дельфины общаются с сородичами.

У некоторых рыб имеются органы, которые непрерывно образуют слабые электрические разряды, создавая вокруг тела биоэлектриче-

ское поле. У медуз есть клетки, которые заблаговременно улавливают приближение шторма.

ПОПУЛЯЦИОННО-ВИДОВОЙ УРОВЕНЬ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ. На этом уровне разнообразную информацию животные передают друг



Рис. 197. Токующий глухарь — пример типичного полового поведения в период размножения

другу с помощью особого поведения. Существует биологическая наука, которая изучает поведение животных, — **этология**.

У каждого вида животных свои средства общения, сигнализации, передачи информации: звуки, знаки, мимика, выделение пахучих средств. Наиболее широко распространены звуковые сигналы. Так, вожак стаи или стада подаёт сигнал об опасности или о наличии корма, о приближении резкой перемены погоды. Многие животные понимают сигналы тревоги, издаваемые не только особями того же вида, но и представителями других видов. Например, стрекотание сороки или крики сойки — сигнал об опасности не только для птиц, но и животных.

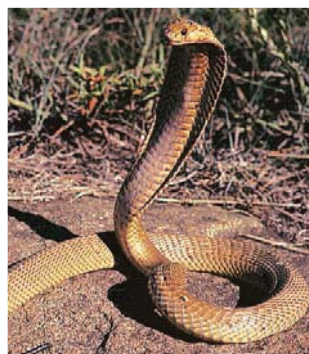


Рис. 198. Кобра с раздутым капюшоном

Интересные знаки демонстрируют животные в брачный период (рис. 197). Выбирая пару, самцы многих птиц одеваются в яркий наряд (маленькие кулики-турухтаны украшают себя нарядными воротничками, распускает свой роскошный хвост-веер павлин), поют любовные серенады (достаточно вспомнить наших соловьёв) или устраивают брачные танцы (очень красив синхронный танец у журавлей).

Сигнализируя о способности дать отпор, многие животные принимают угрожающие позы: кобра раздувает капюшон (рис. 198), американская гремучая змея трещит по-



Рис. 199. Позы, несущие разную информационную нагрузку, у собак



Рис. 200. Самцы ягуара, готовые к схватке за свою территорию



Рис. 201. Пингвины с птенцами

гремушкой, волки и собаки скалят зубы (рис. 199), шерсть у них становится дыбом, медведи встают на задние лапы.

Хищники и грызуны оставляют ароматные метки на своей территории. Крупные хищники могут вступить в бой за свои владения (рис. 200).

Очень характерно поведение животных, которые живут группами. Им проще обнаружить опасность — вожак всегда на страже. В группе легче вырастить и воспитывать молодое поколение. Для пингвинов (рис. 201) появление каждого птенца — событие большой важности, и вся колония приветствует его радостными восклицаниями. И растят птенцов пингвины все вместе, подменяя родителей в случае необходимости.

Сложная иерархия у стадных животных, она напоминает пирамиду, где на вершине вожак, ниже — сильные сородичи, а ещё ниже — слабые, старые животные и молодняк. У общественных насекомых такая иерархия функционирует на основе непрерывно поступающей информации. Например, пчёлы передают информацию о месте нахождения медоносных участков с помощью танца, а сложные взаимоотношения между муравьями в их семьях регулируются особыми веществами — феромонами, которые выделяют одни муравьи, а воспринимают — другие. Благодаря такой химической сигнализации очень многие члены муравьиной семьи быстро мобилизуются на те или иные действия. Этим объясняется согласованность поведения огромных масс рабочих муравьёв. Обмен информацией не менее важен на биоценоотическом и глобальном — биосферном уровнях, на которых осуществляется сложный взаимосвязанный и взаимозависимый поток информации между всеми участниками живого мира, находящегося в неразрывной связи с факторами неживой природы.

Вы знаете

- ▶ какое значение имеет информация в современном мире
- ▶ на каких уровнях происходит обмен информацией в живых системах
- ▶ что представляет собой процесс обмена информацией на молекулярном, клеточном, тканевом, организменном и популяционно-видовом уровне

Вы можете

- ▶ сформулировать, что такое редупликация ДНК, транскрипция и трансляция
- ▶ объяснить, что такое фагоцитоз и какова его роль в иммунной системе организма
- ▶ дать определение рефлекса и рефлекторной дуги, показать их роль в получении и передаче информации из окружающей среды
- ▶ рассказать об анализаторах и их роли в получении информации
- ▶ назвать науку, изучающую поведение животных

Выполните задания

1. Перечислите три обменных потока, которые характеризуют живой мир. Объясните, какую роль играет в этом процессе обмен информацией, из чего он состоит.
2. Расскажите, как происходит обмен информацией на молекулярном уровне, какую роль играет генетическая информация в процессах наследственности и изменчивости.
3. Дайте определение ферментов и объясните, как они работают.
4. Назовите основные способы обмена информацией на популяционно-видовом уровне.

Темы для рефератов

1. Конрад Лоренц — один из основоположников этологии — науки о поведении животных. **2.** Жизнь и научная деятельность И. И. Мечникова. **3.** Вклад в мировую науку академика И. П. Павлова. **4.** Зоопсихология: история науки, её развитие, методы.

8 Распознавание органических соединений

Цель работы: научиться идентифицировать органические соединения на основе знания о качественных реакциях.

Оборудование и реактивы: пробирки, спиртовка, спички, пробиркодержатель; растворы глюкозы, сахарозы, крахмального клейстера, яичного белка, едкого натра, азотной кислоты, сульфата меди (II), иодная настойка (3%).

Ход работы

В двух пробирках без этикеток находятся:

растворы крахмального клейстера и яичного белка (вариант 1);

растворы сахарозы и глюкозы (вариант 2);

растворы глюкозы и яичного белка (вариант 3).

1. Получите у учителя две пробирки в соответствии с номером вашего варианта. Предложите способ экспериментального определения содержимого каждой пробирки.

2. После одобрения вашего способа учителем приступайте к практическому распознаванию веществ.

9 Изучение строения растительной и животной клетки

Цель работы: изучить строение растительных и животных клеток на примере тканей одного типа, сравнить их.

Оборудование: микроскоп, микропрепараты кожицы лука (готовые или приготовленные) и эпителия человека.

Ход работы

1. Рассмотрите микропрепараты, определите, к какой группе тканей относятся изучаемые вами растительные и животные клетки. Аргументируйте свой вывод.

2. Зарисуйте клетки. Отметьте на рисунке клеточную оболочку, цитоплазму, ядро, вакуоли.

3. Сделайте вывод о различиях в строении растительной и животной клеток.

10 Изучение микроскопического строения животных тканей

Цель работы: изучить внешнее строение животных тканей на микропрепаратах, выявить отличительные признаки каждого типа ткани, установить взаимосвязь строения ткани с выполняемой ею функцией.

Оборудование: микроскоп, микропрепараты животных тканей.

Ход работы

1. Рассмотрите микропрепарат, соответствующий номеру вашего варианта. Определите, какая это ткань. По каким признакам вы её узнали?

2. Зарисуйте несколько клеток. Под рисунком подпишите название ткани и признаки, по которым вы её распознали.

3. Сделайте вывод о том, как взаимосвязано строение клеток ткани с выполняемой ею функцией.

11 Изучение простейших

Цель работы: изучить особенности строения простейших на примере амёбы обыкновенной, эвглены зелёной и инфузории туфельки.

Оборудование: микроскопы, микропрепараты амёбы обыкновенной, эвглены зелёной и инфузории туфельки (готовые или приготовленные).

Ход работы

1. Рассмотрите микропрепараты, определите, к какой группе относятся изучаемые вами простейшие. Аргументируйте свой вывод.

2. Зарисуйте клетки. Отметьте на рисунке клеточную оболочку, цитоплазму, ядро, вакуоли, органоиды движения. Сделайте вывод о характере передвижения и питания каждого представителя простейших.

3. Сделайте вывод о сходстве и различиях клеток простейших и многоклеточных организмов.

12 Изучение взаимосвязей в искусственной экосистеме (аквариуме) и составление цепей питания

Цель работы: выяснить существующие взаимосвязи между живыми организмами и средой обитания в условиях аквариума (замкнутой экосистемы), научиться составлять цепи питания на примере контакта мирных и хищных рыб путём внесения живого корма и при его отсутствии.

Оборудование и реактивы: два демонстрационных аквариума ёмкостью 30—40 л с водными растениями и животными (брюхоногими аквариумными моллюсками) и рыбами, как мирными (гуппи, меченосцы, моллинезии), так и хищными (цихлозома и акары).

Ход работы

1. Дайте характеристику аквариума как искусственной экосистемы, используя следующую справку.

Справка

Грунтом аквариума служит промытый торф, крупный песок, галька — для укоренения водных растений. Ими усваиваются разлагающиеся органические остатки погибших растений, пищи, экскременты рыб и моллюсков. Водные растения являются фабрикой кислорода в воде и служат жизненной основой для рыб и моллюсков.

На растениях, грунте, стенках аквариума на свету размножаются синезелёные водоросли, видимые невооружённым глазом как налёт. В воде встречаются и одноклеточные животные.

Корм в аквариум вносится ежедневно. Мирные рыбы питаются быстро размножающимися синезелёными водорослями, кусочками мягких частей высших растений, но успешно поглощают и мелкий живой корм. Основная пища хищных рыб — живые корма. Посаженные вместе с мелкими мирными рыбками, например живородящими, они питаются их молодью и часто взрослыми особями. Искусственно созданный аквариум может служить моделью естественного озера, пруда и т. п. Как и естественный водоём, он представляет собой целостную сложную систему, называемую экосистемой. Такая экосистема при наличии солнечного света или электрического освещения, при комнатной температуре +18—22 °С создаёт условия бесконечно долгого существования живых организмов. Растения, животные и микроорганизмы тесно связаны пищевыми цепочками. Естественные и искусственные экосистемы существуют при условии тесной связи продуцентов, консументов, редуцентов.

2. На примере демонстрационных аквариумов (в первом — с мирными рыбами; во втором — с мирными и хищными рыбами) составьте пищевые цепи питания. Связи между звеньями цепей питания в тетради обозначьте стрелками.

3. Сделайте вывод о свойствах экосистемы, способах её саморегуляции, об источниках энергии для редуцентов.

13 Изучение бытовых отходов

Цель работы: изучить количество и состав бытовых отходов, образующихся в конкретной квартире.

Оборудование: безмен или другие весы, полиэтиленовые пакеты.

Ход работы

1. Соберите в полиэтиленовый пакет мусор, который накапливается в вашем доме или городской квартире за сутки.
2. Взвесьте его (взвешивание проводите в течение 5 суток, чтобы рассчитать среднее значение бытовых отходов за одни сутки).
3. Рассчитайте, сколько бытовых отходов образуется в вашем доме или квартире за одну неделю, месяц и год.
4. Аргументируйте целесообразность использования для сбора бытовых отходов отдельных контейнеров (для бумаги, стекла, пластиковых изделий, пищевых отходов и т. д.). Можно ли в ваших квартирах или домах применять разные мусорные вёдра для разделения бытовых отходов, как это делают в Западной Европе?
5. Предложите мероприятия для приобщения населения к экологической культуре утилизации бытовых отходов.

14 Изучение приспособленности организмов к среде обитания

Цель работы: рассмотреть на конкретных примерах морфологические признаки приспособленности организмов к среде обитания.

Оборудование: чучело озёрной чайки, влажный препарат речного окуня, натуральный объект — кактус (любой) в горшке, видеофрагменты о жизнедеятельности выбранных биологических объектов в естественной среде обитания.

Ход работы

1. Назовите каждый биологический объект (родовое и видовое название). Найдите в Интернете латинские названия этих объектов. Запишите их в тетради.
2. Определите, какие морфологические особенности озёрной чайки соответствуют воздушной среде обитания. Запишите их в тетрадь.
3. Назовите морфологические особенности речного окуня, которые соответствуют водной среде обитания. Запишите их в тетрадь.
4. Объясните, какие морфологические особенности кактуса соответствуют засушливой среде обитания. Запишите их в тетрадь.

15 Изучение волновых свойств света

Цель работы: наблюдать явления дисперсии и дифракции света, анализировать и сопоставлять результаты экспериментального исследования и делать выводы о природе света.

Оборудование: лазерная указка, источник света (например, лампочка от карманного фонаря), трёхгранная призма, дифракционная решётка

ка, источник тока, экран, диафрагма, позволяющая выделить тонкий пучок света.

Ход работы

1. Соедините электрическую лампочку с источником тока, включите её, выделите с помощью диафрагмы узкий пучок света. Направьте его на призму, получите на экране спектр. Скажите, как называется наблюдаемое вами явление, о чём оно свидетельствует.

2. Направьте луч от лазерной указки на стену, поставьте на его пути дифракционную решётку. Опишите свои наблюдения. Объясните, как называется наблюдаемое явление, о чём оно свидетельствует.

3. Повторите опыт, изменяя расстояние между источником света и дифракционной решёткой. Замените дифракционную решётку на другую с меньшим или большим расстоянием между штрихами. Как при этом изменилась дифракционная картина?

4. Сделайте вывод о природе света. Укажите, какой диапазон в шкале Максвелла имеет свет, с которым вы работали.

16 Исследование среды раствора солей и сока растений

Цель работы: исследовать растворы солей и сока растений с помощью индикаторной бумаги, объяснить результаты исследования на основе знания о гидролизе солей и pH раствора.

Оборудование и реактивы: пробирки, растворы карбоната натрия, силиката калия, хлорида натрия, хлорида цинка, нитрата аммония, нитрата калия, сульфата натрия, универсальная индикаторная бумага, сырые овощи (огурец, белокочанная капуста, картофель) и фрукты (яблоко, лимон, груша).

Ход работы

Гидролиз солей

В трёх пробирках без этикеток находятся:

растворы карбоната натрия, хлорида натрия, хлорида цинка (вариант 1);

растворы сульфата цинка, нитрата калия, силиката калия (вариант 2);

растворы нитрата аммония, сульфата натрия, карбоната натрия (вариант 3).

Получите у учителя три пробирки в соответствии с номером вашего варианта. Исследуйте растворы с помощью универсальной индикаторной бумаги. Определите, в какой из пробирок находилась каждая

соль. Запишите в тетрадь результаты наблюдений, а также молекулярные и ионные уравнения реакций гидролиза.

Изучение рН сока растений

Острым ножом отрежьте небольшую пластинку от овоща или фрукта. Приложите к нему полоску универсальной индикаторной бумаги. По шкале определите значение рН сока и сделайте вывод о среде раствора в соке. Запишите результаты в тетрадь.

17 Изучение состава почвы

Цель работы: изучить механический состав почвы, получить почвенный раствор и исследовать его.

Оборудование и реактивы: почва, дистиллированная вода, пробирки, лупа, воронка, лабораторный штатив, бумажный фильтр, стеклянная пластинка или часовое стекло, пинцет, спиртовка, лакмусовая бумажка (красная и синяя).

Ход работы

Механический анализ почвы

1. Заполните пробирку почвой до высоты 2—3 см. Налейте дистиллированную воду, объём которой должен в 3 раза превышать объём почвы.

2. Закройте пробирку пробкой и тщательно встряхивайте в течение 1—2 минут, а затем через лупу наблюдайте за осаждением частиц почвы и структурой осадков.

3. Опишите и объясните свои наблюдения.

Получение почвенного раствора и опыты с ним

1. Приготовьте бумажный фильтр, вставьте его в воронку, закреплённую в кольце штатива. Поместите под воронку чистую сухую пробирку и профильтруйте полученную в первом опыте смесь почвы и воды. Перед фильтрованием смесь не следует встряхивать. Почва останется на фильтре, а собранный в пробирке фильтрат представляет собой почвенную вытяжку (почвенный раствор).

2. Несколько капель почвенного раствора поместите на стеклянную пластинку и с помощью пинцета подержите её над горелкой до выпаривания воды. Что наблюдаете? Объясните.

3. Возьмите две лакмусовые бумажки (красную и синюю) и стеклянной палочкой нанесите на них почвенный раствор.

4. Сделайте вывод по результатам наблюдений.

18 Измерение удельной теплоёмкости воды

Цель работы: закрепить знания о процессе теплообмена, тепловом равновесии и тепловом балансе; совершенствовать умение пользоваться термометром.

Оборудование: термометр, весы с разновесом, мерный цилиндр, калориметр, стакан с водой, калориметрическое тело из известного металла на нити, мешалка, промокательная бумага.

Ход работы

1. Налейте в калориметр 120 мл воды.
2. Измерьте её температуру.
3. Опустите в калориметр нагретый в горячей воде металлический цилиндр (это сделает учитель), температура которого известна.
4. Перемешивайте воду до тех пор, пока температура воды, в которую опущен цилиндр, не перестанет изменяться. Измерьте температуру воды.
5. Выньте цилиндр из воды, оботрите его бумажным полотенцем или салфеткой и взвесьте.
6. Вычислите количество теплоты, отданное цилиндром воде (Q_1):

$$Q_1 = m_1 c_1 (t_1 - t),$$

где m_1 — масса цилиндра, c_1 — удельная теплоёмкость вещества, из которого изготовлен цилиндр (название вещества подскажет учитель), t_1 — начальная температура цилиндра (значение назовёт учитель), t — температура воды и цилиндра в состоянии теплового равновесия.

7. Количество теплоты Q_1 , отданное цилиндром, равно количеству теплоты, полученному водой, — Q_2 : $Q_1 = Q_2$. В свою очередь, количество теплоты, полученное водой, равно: $Q_2 = m_2 c_2 (t - t_2)$, где m_2 — масса воды, c_2 — удельная теплоёмкость воды, t_2 — начальная температура воды, t — температура воды и цилиндра в состоянии теплового равновесия.

Вычислите удельную теплоёмкость воды: $c_2 = \frac{Q_2}{m_2 (t - t_2)}$.

8. Сравните полученное значение удельной теплоёмкости воды с табличным.
9. Объясните, почему полученное вами значение удельной теплоёмкости воды не совпадает с табличным. Как можно уменьшить погрешность измерений в данной работе?
10. Оформите отчёт о проделанной работе и сделайте вывод.

19 Изучение изображения, даваемого линзой

Цель работы: исследовать положение и характер изображения в зависимости от расстояния между предметом и линзой.

Оборудование: двояковыпуклая линза, лампочка от карманного фонаря на подставке, лабораторный источник питания, линейка, экран.

Ход работы

1. Определите фокусное расстояние линзы. Для этого получите на экране чёткое изображение удалённого предмета, например дерева или здания за окном. В этом случае расстояние от линзы до экрана равно фокусному расстоянию линзы. Запишите значение фокусного расстояния линзы в таблицу.

2. Поместите включённую лампочку от линзы на расстоянии, большем двойного фокусного. Получите чёткое изображение лампочки на экране. Измерьте расстояние от лампочки до линзы и от линзы до экрана. Запишите результаты измерения в таблицу.

3. Перемещайте лампочку к линзе и каждый раз добивайтесь на экране чёткого изображения. Измеряйте расстояние от лампочки до линзы и от линзы до экрана. Записывайте данные в таблицу 9.

4. Охарактеризуйте изображение лампочки, получающееся в каждом случае, и занесите эту информацию в таблицу 9.

Таблица 9
ЗАВИСИМОСТЬ ХАРАКТЕРА ИЗОБРАЖЕНИЯ
ОТ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ПРЕДМЕТОМ И ЛИНЗОЙ

Расстояние			Характеристика изображения	
фокусное линзы F , см	от предмета до линзы d , см	от линзы до изображения f , см	действитель- ное (мнимое)	увеличенное (уменьшен- ное)
	$d > 2F$			
	$d = 2F$			
	$2F > d > F$			
	$d = F$			
	$d < F$			

5. Сделайте вывод о зависимости характера изображения от расстояния предмета до линзы.



ПРОЕКТНЫЕ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

Выполнение старшеклассниками обязательного индивидуального проекта предусмотрено новыми образовательными стандартами.

Проектная деятельность — самостоятельная творческая деятельность, результатом которой является информационный продукт — оформленный проект, обладающий новизной.

В работе над проектом или исследованием можно выделить 6 этапов:

1-й этап — **подготовка**: формулирование темы, целей и задач, определение источников информации (список литературы, сайты Интернета, средства масс-медиа и др.) для достижения результатов и решения поставленных задач;

2-й этап — **планирование**: выбор способов отбора и анализа информации, разработка плана действий; выдвижение гипотез, которые будут подтверждены или опровергнуты в ходе работы;

3-й этап — **исследование**: разработка методики проведения эксперимента и её реализация в процессе выполнения проекта;

4-й этап — **подведение итогов и формулирование выводов**: анализ собранной теоретической и экспериментальной информации, оформление и запись результатов умозаключений;

5-й этап — **представление результатов**: подготовка презентации, выступление с основными идеями проведённой работы, участие в научной дискуссии;

6-й этап — **рефлексия**: самооценка и оценка результатов и процесса работы учителем, одноклассниками и др.

В этом разделе учебника приведены естественно-научные эксперименты, которые могут послужить основой для вашей творческой работы. Поэтому ознакомьтесь со всеми исследовательскими работами, определите ту работу, которая вас наиболее заинтересовала и которую вы должны будете выполнить до конца учебного года. Если вы захотите на её основе провести собственное индивидуальное исследование, работайте по плану из шести этапов, перечисленных выше.

1 Качественное определение важнейших примесей в воде

Визуальное (органолептическое) определение показателей воды

Возьмите пробы воды из различных природных источников (ручья, реки, озера, пруда или другого водоёма). Забор пробы лучше осуществлять с моста или лодки на глубине примерно 50 см в объёме нескольких литров, соблюдая при этом меры предосторожности. Внимательно изучите внешний вид образца воды: цвет, запах, прозрачность, наличие твёрдых частичек или маслянистых загрязнений. Внесите наблюдения в таблицу показателей по каждому источнику образца воды (табл. 10).

Таблица 10
ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВОДЫ В РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКАХ

Показатели воды Источ-ник	Цвет	Прозрач-ность (мутность)	Запах	Вкус	Наличие примесей, осадка
Ручей					
Река					
Озеро					
Пруд					

Определение характера и интенсивности запаха. Запах воды желательно определять в помещении, где нет посторонних запахов. Кроме того, важно, чтобы запах одной и той же пробы воды определяли несколько человек (два—три).

В колбу объёмом 200 мл налейте 100 мл исследуемой воды, закройте её пробкой и сильно взболтайте. Выньте пробку и определите характер и интенсивность запаха исследуемой пробы воды с помощью таблиц 11 и 12.

Таблица 11
ХАРАКТЕР ЗАПАХА ВОДЫ

Характер запаха	Аналог запаха
Неопределённый	Нет аналога
Травянистый	Запах сена, покоса
Сероводородный	Тухлых яиц

Характер запаха	Аналог запаха
Затхлый	Плесени, застойного воздуха
Прелый	Свежевспаханной земли
Древесный	Коры деревьев, мокрых опилок
Фекальный	Сточных вод, гнили
Болотный	Тины, ила, цветущей застойной воды
Ароматный	Цветов, огурцов, яблок

ТАБЛИЦА 12
ИНТЕНСИВНОСТЬ ЗАПАХА ВОДЫ

Интенсивность запаха	Характеристика запаха
Очень сильный	Интенсивный, сразу ощущается
Отчётливый	Чувствуется отчётливо
Ощутимо заметный	Обнаруживается без труда
Слабый	Ощущается не сразу, но чувствуется, если сосредоточиться
Очень слабый или отсутствует вовсе	Может быть зафиксирован только опытным исследователем в лаборатории или отсутствует вообще

Определение вкуса воды. Отметим, что вкус стоит определять только у тех проб воды, которые имеют слабый запах или не имеют его вовсе. Определение данного показателя воды очень сильно зависит от личного опыта исследователя, поэтому вполне допустимо, что исследователи будут чувствовать различные привкусы. Пробу воды 20 мл прокипятите на плитке. После её остывания до комнатной температуры 10—15 мл воды, не проглатывая, 1—2 минуты подержите во рту, пытаясь максимально задействовать рецепторы языка и нёба.

Определение цвета и прозрачности/мутности воды. Химики определяют цвет воды с помощью специальной шкалы цветности. Цветность — это определённый цветовой оттенок воды. Чистая вода не должна иметь почти никакого цвета.

В демонстрационную пробирку высотой 15—20 см или стеклянный цилиндр налейте исследуемую воду, под него положите лист белой бумаги (в качестве фона). Заполните пробирку водой до высоты

10—12 см. Определите цветность воды, рассматривая воду сверху при достаточном боковом освещении. Выберите наиболее точное название оттенка: слабо-желтоватая, светло-желтоватая, жёлтая, интенсивно-жёлтая, коричневая, красно-коричневая, другая (укажите — какая).

Для определения мутности воды мерный цилиндр с прозрачным дном установите на газетной или книжной странице с текстом. Подливайте в цилиндр порциями по 10 мл воду из анализируемого источника до тех пор, пока текст, на который вы смотрите сверху через толщу воды, не будет расплываться.

Измерьте линейкой высоту столба жидкости. Условно принимая степень определения прозрачности дистиллированной воды за 100%, определите степень прозрачности исследуемой пробы, разделив высоту её столба на высоту столба дистиллированной воды и умножив полученный результат на 100%.

Определение наличия примесей, осадка. В двухлитровую колбу наберите исследуемую воду, взболтайте её, поставьте на стол. Через 1—2 часа охарактеризуйте осадок в такой градации: отсутствует, незначительный, заметный, большой. Если осадок есть, определите его характер (хлопьевидный, песчаный, илистый и т. д.) и цвет, а также опишите осветление воды над осадком. Наличие масел оцените также визуально — об этом свидетельствуют жирные пятна на поверхности воды.

Измерение плотности воды

Для измерения плотности воды потребуется ареометр, позволяющий сделать это с точностью до тысячных долей. Опустите ареометр в стакан с исследуемым образцом и узнайте плотность воды. Помимо температуры плотность воды зависит от содержания в ней растворённых веществ. Проведите испытания с каждым из образцов и результаты занесите в таблицу 13.

Определение реакции среды (pH). Это можете сделать с помощью универсальной индикаторной бумаги.

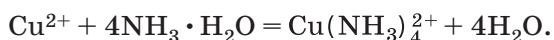
Определение органических веществ. К исследуемым образцам добавьте по несколько капель 0,5%-х растворов перманганата калия (марганцовки) и серной кислоты. При нагревании происходит изменение окраски, что говорит о наличии в воде органических веществ, способных окисляться раствором перманганата калия.

Определение хлорид-ионов. Для этого к исследуемым образцам добавьте несколько капель раствора нитрата серебра. Если растворы помутнели, значит, хлорид-ионы присутствуют.

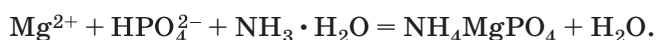
Определение сульфат-ионов. Проводится таким же образом, что и предыдущее исследование, только с добавлением нескольких капель раствора хлорида бария.

Определение ионов железа (III). В пробы исследуемых образцов добавьте 3—4 капли концентрированной азотной кислоты и кипятите 2—3 минуты с целью окисления ионов железа (II) в ионы железа (III). После охлаждения добавьте 3—4 капли раствора роданида аммония. Окрашивание растворов в красный цвет свидетельствует о наличии ионов железа (III).

Определение ионов меди (II). К пробам исследуемых образцов добавьте раствор аммиака, который при взаимодействии с ионами меди образует сначала осадки основных солей сине-зелёного цвета, которые затем в избытке реагента образуют растворимые аммиакаты меди интенсивного синего цвета:



Определение ионов магния. К пробам исследуемых образцов добавьте по 5 капель растворов хлорида аммония, гидрофосфата натрия и аммиака. Появление белого кристаллического осадка аммоний-магний-фосфата, растворимого в уксусной кислоте, свидетельствует о наличии в воде ионов магния:



Определение нитритов. К 2 мл исследуемой воды добавьте 2 мл физиологического раствора и 2 мл риванольного раствора (1 таблетку риванола, купленного в аптеке, растворяют в 200 мл 8% -й соляной кислоты). Если появляется бледно-розовая окраска, это говорит о недопустимости уровня содержания нитритов в воде.

ТАБЛИЦА 13

ХАРАКТЕРИСТИКА ВОДЫ ПО ХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Показатели воды Источ-ник	Реакция среды (pH)	Органические вещества	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Fe ³⁺	Cu ²⁺	Mg ²⁺	NO ₂ ⁻
Ручей								
Река								
Озеро								
Пруд								

Сравните качество воды из различных источников и её пригодность для бытовых и промышленных нужд, используя предельно допустимые концентрации, которые найдете в справочной литературе или Интернете. Предложите свои способы улучшения качества воды.

2 Способы улучшения качества воды

Приготовление биологически активной воды

В домашних условиях несложно получить разные виды биологически активных вод: талую, намагниченную, серебряную, кремниевую и даже шунгитовую (табл. 14). Минералы, установки для подготовки активированной воды стали доступнее, они представлены в аптечной и торговой сети и применяются во многих семьях.

ТАБЛИЦА 14
ПОЛУЧЕНИЕ АКТИВИРОВАННОЙ ВОДЫ

Активированная вода	
Вид воды	Способ получения
Водопроводная	Налейте в открытую ёмкость и оставьте в течение суток для удаления остаточного хлора
Талая водопроводная	Заморозьте отстоянную воду и дайте ей растаять при комнатной температуре
Талая снеговая	Растопите чистую порцию снега при комнатной температуре
Серебряная	Положите на сутки в отстоянную водопроводную или родниковую воду серебро (монету, ложку или ювелирное украшение)
Обогащённая серебром при помощи ионатора	Делайте всё по инструкции, прилагающейся к ионатору
Кремниевая	Оставьте кусочек кремния на сутки в воде
Шунгитовая	Поместите кусок шунгита на сутки в ёмкость с водой
Живая и мёртвая	Делайте всё по инструкциям, прилагаемым к установкам по подготовке активированной воды (УПВ-3-1 и др. типов)
Магнитная	Подвесьте магнит на период эксперимента с внешней стороны от стеклянной банки с водой

Выберите серию экспериментов с учётом имеющихся в домашнем хозяйстве средств для получения активированной воды. Ею предстоит поливать репчатый лук для получения витаминной зелени (на один опыт потребуется 3—4 небольшие головки). Субстратом для выращивания витаминной зелени может служить земля, опилки, речной песок или вата. Луковицы высаживаются в небольшие одноразовые пластиковые стаканчики, которые надо пронумеровать.

Подписанные стаканчики с луком разместите в небольшой коробке на подоконнике и умеренно поливайте через день активированной водой разного вида (по столовой ложке).

Чтобы обеспечить равномерность в освещении, через каждые 3—4 дня поворачивайте коробку. Настоящие естествоиспытатели ежедневно записывают в тетради наблюдения, в проведении опытов возможны определённые коррективы. Если в комнате очень тепло и воздух достаточно сухой, а лук начинает вянуть, увеличьте полив до 2—3 ложек.

Через 2 недели лук подрастёт. Срежьте его до основания, разложите по порциям соответственно сериям экспериментов, измерьте длину всех перьев. Суммарная величина и будет итоговым показателем. Сделайте вывод о влиянии различных видов воды на рост растений.

Салат с луком, выращенным своими руками, будет аппетитным и прекрасным дополнением к обеду.

Вымораживание воды

В домашних условиях чистую структурированную, полезную для здоровья воду можно получить методом вымораживания. Лёд имеет кристаллическую структуру, состоящую из молекул воды. Инородным примесям, в том числе растворённым в воде солям, газам и красителям, при замерзании не остаётся места в кристаллической решётке. Они стекают по структурам кристаллической решётки вместе с загрязнёнными остатками воды. Если процесс замерзания остановить при температуре от $-1...-6\text{ }^{\circ}\text{C}$, то в кристалликах льда будет только чистая вода. Жидкий остаток — «бульон» из примесей, солей и раствора грязи — вреден для здоровья человека. Речь идёт не только о патологических изменениях в кровеносных сосудах и суставах или о занесении в ткани и клетки чужеродных соединений. Доказано, что некачественная вода особенно влияет на функции мозга, на три четверти состоящего из воды.

Опыт показал, что воду лучше замораживать при температуре $-1...-6\text{ }^{\circ}\text{C}$, остаток сливать, в нём будут все вредные примеси. За ночь при данной температуре замерзает примерно две трети воды. Вымораживание можно проводить в морозильной камере, установив регулятор на $-4...-6\text{ }^{\circ}\text{C}$. В качестве ёмкости подойдут кастрюли, пластиковые стаканы, бутылки со срезанным горлышком. Воду обязательно закрывайте крышкой или полиэтиленовым пакетом.

Для выполнения эксперимента приготовьте четыре одинаковые ёмкости для воды объёмом 200—300 мл, разрезав пластиковые бутылки пополам. Нижнюю часть используйте под воду, верхней, с закрученной крышкой, закройте воду.

Ёмкости пронумеруйте, мерным стаканчиком налейте одинаковое количество воды: в первую — кипячёную воду; во вторую — любую

минеральную лечебную воду (например, Нарзан); в третью — ржавую или бытовую грязную воду (например, после мытья посуды); в четвёртую — воду, окрашенную зелёной или марганцовкой.

Поставьте ёмкости с водой на 6—7 часов в морозильную камеру или на балкон, если эксперимент проводится в зимнее время. Результаты наблюдения запишите в таблицу 15.

ТАБЛИЦА 15
ВЫМОРАЖИВАНИЕ ВОДЫ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Наблюдение	Вид воды			
	кипячёная	минеральная	грязная	окрашенная
Время замерзания (ч)				
Внешний вид льда (прозрачный, непрозрачный, с газовыми включениями, с мутью и т. п.)				
Вид незамёрзшей воды в сердцевине				
Внешний вид оттаявшего остатка				

Сделайте выводы об эффективности очистки воды методом вымораживания. Предложите пути использования такой воды в различных областях народного хозяйства.

3 Определение жёсткости воды

Качественное определение жёсткости воды с помощью раствора мыла

В три пробирки налейте по 10 мл воды дистиллированной, водопроводной некипячёной и водопроводной кипячёной.

В каждую пробирку бросьте по равному кусочку мыла, в течение 1—2 минут потрясите пробирки, добиваясь более полного его растворения. Затем пусть вода отстаивается. Измерьте высоту пены и опишите внешний вид полученных растворов — наличие хлопьевидного

осадка, его количество, прозрачность раствора и т. д., по результатам составьте таблицу (для примера дана табл. 16).

ТАБЛИЦА 16

ХАРАКТЕРИСТИКА РАСТВОРА МЫЛА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПА ВОДЫ

Тип воды	Полученный раствор
Водопроводная	Мутный, много осадка в виде хлопьев
Кипячёная	Мутный, осадка почти нет
Дистиллированная	Почти прозрачный, осадка нет

Работу можно усложнить — исследовать воду на предмет жёсткости с помощью соков некоторых ягод. В быту индикатором жёсткости воды может быть сок чёрной смородины, черноплодной рябины, черники. В них содержатся органические кислоты, способные образовывать осадки с катионами кальция или магния. Это приводит к небольшим отклонениям pH среды, и, соответственно, природный цвет ягодных соков изменяется. Вы можете самостоятельно разработать технологическую карту проведения эксперимента с соками этих ягод.

Следующий опыт требует применения труднодоступных реактивов для школьной практики, но их можно одолжить в организациях, где проводится мониторинг воды.

Определение общей жёсткости воды

В коническую колбу влейте 50 мл исследуемой воды, 3 мл аммиачного буферного раствора, положите в него несколько кристалликов индикатора хромогена чёрного и титруйте раствор трилона Б (титрование — постепенное прибавление раствора известной концентрации к анализируемому раствору с целью установления концентрации последнего) до перехода красно-фиолетовой окраски на сине-фиолетовую. Общую жёсткость воды рассчитайте по формуле:

$$Ж_{\text{общ}} = \frac{C \cdot V_1}{V_2} \cdot 1000 \left[\frac{\text{мг-экв}}{\text{л}} \right],$$

где V_1 — объём раствора трилона Б, израсходованный на титрование (мл); V_2 — объём воды, взятой для титрования (мл); C — концентрация трилона Б.

Повторите опыт с каждой пробой воды.

Определение карбонатной жёсткости

В коническую колбу влейте 100 мл воды, прибавьте 2—3 капли раствора индикатора метилового оранжевого. Пробу титруйте 0,1 н раство-

ром соляной кислоты до перехода жёлтой окраски в устойчивую оранжевую. Рассчитайте карбонатную жёсткость по формуле:

$$Ж_{\text{к}} = \frac{V_{\text{HCl}} \cdot C}{V_{\text{воды}}} \left[\frac{\text{мг-экв}}{\text{л}} \right],$$

где V_{HCl} — объём соляной кислоты (мл); C — концентрация соляной кислоты; $V_{\text{воды}}$ — объём воды, взятой для анализа (л).

Повторите опыт с каждой пробой воды. Результаты исследований занесите в таблицу 17.

ТАБЛИЦА 17
ОБЩАЯ И КАРБОНАТНАЯ ЖЁСТКОСТЬ ВОДЫ

Вода	Жёсткость воды	
	общая	карбонатная
Водопроводная		
Дистиллированная		
Речная		
Озёрная		
Родниковая		

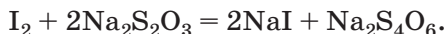
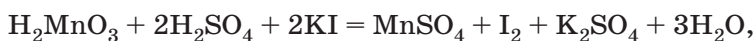
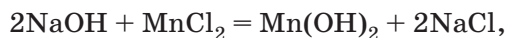
Результаты проведённого эксперимента позволяют ответить на следующие практические вопросы.

- а) В какой воде лучше растворяется мыло?
- б) Какую воду целесообразнее использовать для стирки, мытья волос, умывания, использования в системе охлаждения автомобильного двигателя?
- в) Как улучшить растворимость мыла в водопроводной воде?
- г) Как можно уменьшить количество растворённых веществ в жёсткой воде?

4 Определение растворённого кислорода в воде по методу Винклера

Этот метод основан на том, что кислород в щелочной среде способен окислять гидроксид марганца (II) — он образуется при добавлении в воду соли марганца (II) — до кислоты H_2MnO_3 . Эта кислота, в свою очередь, вытесняет в кислой среде иод из иодида калия, эквивалент-

ный содержанию растворённого в воде кислорода. Этот иод может быть оттитрован тиосульфатом натрия:



Кислородный режим оказывает глубокое влияние на жизнь водоёма. Минимальное содержание растворённого кислорода, обеспечивающее нормальное развитие рыб, составляет около 5 мг/л. Понижение его до 2 мг/л вызывает массовую гибель рыб. Неблагоприятно сказывается на их состоянии и пресыщение воды кислородом. Как сильный окислитель, кислород играет важную санитарно-гигиеническую роль, способствуя быстрой минерализации остатков организмов. Для техники большое значение имеет деполяризующее действие растворённого кислорода, от которого зависит интенсивность протекания коррозии металлов.

Фиксация кислорода

Колбу объёмом 500 мл с притёртой пробкой наполните до краёв исследуемой водой и сразу же с помощью пипетки, которую погружайте каждый раз до половины колбы и по мере выливания раствора поднимайте вверх, прибавьте 1 мл раствора хлорида марганца и 1 мл щелочного раствора иодида калия. После этого колбу закройте притёртой пробкой и перемешивайте раствор, много раз переворачивая колбу. Оставьте её в покое, пока осадок максимально осядет на дно.

Определение кислорода

Откройте колбу и осторожно, чтобы не поднялся осадок, добавьте 5 мл соляной кислоты (2 : 1). Затем вновь закройте пробкой и взболтайте содержимое колбы до полного растворения осадка. Жидкость окрашивается в жёлтый цвет выделившимся иодом.

Заполните 0,02 н раствором тиосульфата натрия бюретку. В другую колбу объёмом 500 мл отлейте 150 мл содержимого первой колбы (зафиксируйте этот объём V_{150} , мл) и титруйте до светло-жёлтой окраски. Затем долейте в неё 1 мл 0,5% -го раствора крахмала. Продолжайте титрование до полного исчезновения синей окраски (запишите объём израсходованного раствора тиосульфата натрия $V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$, мл).

Расчёт содержания растворённого в воде кислорода (m_{O_2} , мг/л) делайте по формуле:

$$m_{\text{O}_2} = 8 \cdot V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} \cdot C_{\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3} \cdot 1000 / (500 - V_{150}),$$

где $V_{\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$ — объём тиосульфата натрия, израсходованный на титрование (мл); $C_{\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3}$ — нормальная концентрация раствора тиосульфата натрия (моль/л); $500 - V_{150}$ — объём оттитрованной пробы (мл).

Рекомендации для организации исследовательской деятельности:

1) исследуйте воду различных водоёмов (реки, озера, пруда) на предмет содержания растворённого в ней кислорода, сделайте практические выводы;

2) исследуйте воду различных водоёмов (реки, озера, пруда) на предмет содержания растворённого в ней кислорода в зависимости от глубины водных слоёв (поверхностных, срединных, придонных), сделайте практические выводы;

3) исследуйте воду различных водоёмов (реки, озера, пруда) на предмет содержания растворённого в ней кислорода в зависимости от сезона года, сделайте практические выводы.

5 Исследование жевательной резинки

Обыкновенная жевательная резинка — это совокупность многих органических веществ (резиновая основа из каучуков, пищевых добавок, многоатомных спиртов, аминокислот и др.). Поэтому исследование её позволяет лучше усвоить характерные свойства компонентов жевательной резинки, закрепить практические умения и навыки обращения с химическим оборудованием.

Для исследования можно взять известные жевательные резинки — «Orbit», «Dirol», «Stimorol» и т. п.

Исследование свойств резиновой основы

Оставшуюся после жевания резинку разделите на четыре части и поместите их в отдельные пробирки. Налейте в первую пробирку этиловый спирт, во вторую бензин (керосин), в третью концентрированную соляную кислоту, в четвёртую — растительное масло так, чтобы кусочек жвачки был полностью покрыт жидкостью.

Сделайте вывод о сравнительной устойчивости полимера (бутадиенового и изопренового каучуков) в различных средах.

Обнаружение многоатомных спиртов

В пробирку поместите измельчённую оболочку одной подушечки или пластинки жвачки и добавьте 3 мл дистиллированной воды, встряхните несколько раз до получения мутного раствора. Затем добавьте в него раствор едкого натра и 3 капли раствора медного купороса. Встряхните содержимое пробирки ещё раз и наблюдайте образование ярко-синего раствора. Это свидетельствует о наличии в составе жевательной резинки многоатомных спиртов (ксилита, маннита и т. д.).

Обнаружить многоатомные спирты можно и другим способом. Мелко нарезанную жвачку поместите в пробирку и добавьте этилового спирта, чтобы жидкость покрыла её. Закройте пробирку пробкой и энергично трясите в течение минуты. Профильтруйте смесь и определите наличие многоатомных спиртов так, как это было сделано ранее.

Обнаружение аминокислот

Многие жевательные резинки в качестве подсластителя содержат аспартам, в структуру которого входят остатки фенилаланина. Его легко можно обнаружить, если к спиртовому экстракту жевательной резинки добавить концентрированной азотной кислоты, а затем содержимое нагреть. Характерное жёлтое окрашивание свидетельствует о наличии в составе жевательной резинки фенилаланина.

Исследование свойств ментола

Для этой цели возьмите пластинку или подушечку жевательной резинки с ментолом (с подушечки удалите оболочку). Резинку мелко нарежьте и поместите в пробирку, куда затем добавьте 5—6 мл этилового спирта. Смесь энергично потрясите и профильтруйте. Фильтрат разделите на две равные части.

Если к первой порции фильтрата долить воду, то происходит помутнение, так как ментол в воде очень плохо растворяется. Этот осадок растворится, если добавить новую порцию этилового спирта (ментол хорошо растворяется в этиловом спирте).

Ко второй порции фильтрата осторожно добавьте 8—10 капель концентрированной серной кислоты и 1 каплю бензальдегида так, чтобы жидкости не перемешались. Тогда более тяжёлая серная кислота опустится вниз, а на границе жидкостей появится фиолетовое окрашивание — вы видите качественную реакцию на ментол.

Эту реакцию можно выполнить более простым способом: немного измельчённой жвачки поместите в фарфоровую чашечку и залейте её концентрированной серной кислотой с добавкой бензальдегида.

Обнаружение серы

Возьмите 3 г измельчённой жевательной резинки, поместите в пробирку и залейте 10—11 мл воды. Через 15 минут содержимое пробирки профильтруйте. Остаток просушите на воздухе, поместите в пробирку, закройте её газоотводной трубкой и нагрейте на пламени спиртовки. Пары пропустите через раствор ацетата свинца, в результате чего выпадет чёрный осадок.

Внимательно изучите обёртки известных вам жевательных резинок. Найдите различные группы пищевых добавок (подсластители, красители, стабилизаторы, органические кислоты) и их индексы.

Жевательные резинки часто содержат стабилизатор Е-422 — это глицерин (при всасывании в кровь обладает токсическим действием), эмульгатор Е-322 — это лецитины и фосфатиды (ускоряют слюноотделение, что пагубно сказывается на пищеварении) и т. д. Сделайте вывод о влиянии жевательной резинки на организм человека.

6 Исследование шоколада

Как и жевательная резинка, шоколад с точки зрения химического состава представляет собой богатую композицию жиров, белков, углеводов, дубильных веществ, кофеина, теобромина и т. д. Для вашего эксперимента достаточно будет исследовать шоколад на содержание в нём первых трёх групп органических веществ. Будет полезно сравнить разные марки горького и молочного шоколада по содержанию в них жиров, белков и углеводов и сформулировать рекомендации по применению этого кондитерского продукта людьми разных возрастных групп, профессий и склонности к полноте.

Обнаружение углеводов

Поместите в пробирку на 1 см по высоте тёртого шоколада и добавьте к нему 2—3 мл воды. Энергично встряхивайте в течение минуты содержимое пробирки, затем профильтруйте его. Разделите фильтрат на две пробирки. Добавьте к первой 2—3 мл раствора едкого натра и 3—5 капель раствора медного купороса. Встряхните содержимое пробирки — и увидите ярко-синий раствор. Это свидетельствует о наличии в составе шоколада углеводов.

Обнаружение белков

К фильтрату во второй пробирке добавьте 0,5 мл концентрированной азотной кислоты. Смесь нагрейте. Вы увидите осадок жёлтого цвета, который приобретает оранжевую окраску при добавлении к нему раствора аммиака. Это известная качественная реакция на белки — ксантопротеиновая.

Обнаружение непредельных жиров

Жир в составе шоколада легко обнаружить по жирному пятну, которое оставляет кусочек шоколада на фильтровальной бумаге под прессом. Если на такое пятно капнуть 1% раствор перманганата калия, то пятно окрашивается в бурый цвет из-за образующегося оксида марганца (IV). Остатки непредельных кислот, входящих в состав шоколада, окисляются перманганатом калия по месту двойной связи с образованием двух гидроксогрупп.

Горький шоколад самый полезный — и прежде всего из-за высокого содержания какао-бобов. Предложите методику исследования, чтобы подтвердить или опровергнуть данное мнение.

7 Исследование чипсов

Чипсы — это излюбленная еда детей и молодёжи. Многие из вас думают, что чипсы состоят только из картофеля, растительного масла и соли. Однако, изучив упаковку чипсов, можно увидеть, что в состав большинства из них входят ещё лактоза, глутамат натрия (усилитель вкуса), натуральные и натурально-идентичные ароматические вещества, фосфат натрия. Кроме того, в чипсах содержится акриламид — органическое соединение, которое обладает канцерогенным действием, т. е. вызывает рак. В процессе данной работы полезно будет сравнить различные марки чипсов.

Горение чипсов

Тигельными щипцами возьмите по одному большому ломтику чипсов из каждого исследуемого пакетика. Поднесите его к пламени спиртовки и наблюдайте горение. Каждый ломтик горит коптящим пламенем, сравнимым с пламенем горящей резины. Отметьте интенсивность копоти пламени для различных марок чипсов.

Исследование механической прочности чипсов

Возьмите по одному большому ломтику чипсов из каждого исследуемого пакетика, постарайтесь, чтобы чипсы разных марок были приблизительно одинакового размера и толщины. На каждом ломтике аккуратно сделайте иголкой две дырочки на противоположных концах. Подвесьте за одну дырочку ломтик на крючок (его можно сделать из обычной скрепки и закрепить в лапке лабораторного штатива). В другую дырочку проденьте сделанный из скрепки S-образный крючок. Подвешивайте, как ёлочные игрушки на ёлку, на вторую половину крючка различные грузики в порядке увеличения их массы, пока чипс не разломается на кусочки. Сравните механическую прочность чипсов разных марок, попробуйте дать этому объяснение.

Обнаружение жиров

Возьмите по одному большому ломтику чипсов разных марок, но приблизительно одинакового размера и толщины. Заверните ломтики по отдельности в фильтровальную бумагу и осторожно раздавите их. Кусочки чипсов с фильтровальной бумаги поместите в пронумерованные стаканчики (для следующего анализа).

Посмотрите на образовавшееся в каждом случае жирное пятно на просвет и сделайте вывод о количестве масла по размеру пятна и интенсивности пропускаемого через него света.

Если на каждое такое пятно капнуть 1% раствор перманганата калия, то пятна окрасятся в бурый цвет из-за образующегося оксида марганца (IV). Остатки непредельных кислот, входящих в состав чипсов, окисляются перманганатом калия по месту двойной связи с образованием двух гидроксогрупп. Сравните содержание жиров в чипсах разных марок.

Обнаружение крахмала

Возьмите по одному большому ломтику чипсов разных марок, но приблизительно одинакового размера и толщины. Капните раствор иода на каждый ломтик, отметьте интенсивность окраски.

Сделайте вывод о содержании крахмала в чипсах разных марок.

Обнаружение хлорида натрия

Возьмите по одному большому ломтику чипсов разных марок, но приблизительно одинакового размера и толщины. Взвесьте каждый ломтик, измельчите их и поместите в пронумерованные пробирки, налейте в них на треть объёма воды. Нагревайте содержимое пробирок в течение минуты, охладите растворы и профильтруйте их. Часть фильтратов поместите в фарфоровые чашечки и выпарьте их. Кристаллики получившейся соли поднесите к пламени спиртовки с помощью проволоки. Что наблюдаете? Почему?

К оставшимся фильтратам добавьте по 3 капли раствора нитрата серебра, отметьте интенсивность выпавших осадков. Сравните содержание хлорида натрия в чипсах разных марок.

8 Исследование чая

Чай пьют сотни миллионов людей во всех странах земного шара. В зависимости от традиций и природных условий страны чай пьют разного вида.

Особенности химического состава чая обусловлены его свойствами: способностью оказывать бодрящее действие на организм человека, лучше других напитков утолять жажду, прекращать головные боли и т. д.

Существуют следующие виды чая: чёрный, зелёный, жёлтый, белый, красный. Каждый из видов имеет свои специфические особенности, вытекающие из конкретных требований, предъявляемых к данному виду продукта. Но все виды чая тем не менее содержат разнообразные полезные вещества, и среди них такие редкие и ценные, как кофеин, теобромин, таннин, эфирные масла, витамины и другие.

Выделение кофеина из чая

В фарфоровую чашечку (или тигель) поместите тщательно перемешанную смесь, состоящую из чайной ложки измельчённого в ступке чая и 2 г оксида марганца, нагрейте на умеренном огне (электроплитке, горелке и т. п.). Сверху чашку (или тигель) накройте другой чашкой с налитой в неё холодной водой. Содержащийся в чае кофеин в присутствии оксида магния возгоняется и оседает в виде игольчатых кристаллов на поверхности чашки с водой.

Качественная реакция на кофеин

На стеклянную пластинку или в чистую фарфоровую чашечку поместите несколько полученных кристаллов кофеина и осторожно добавьте 1—2 капли концентрированной азотной кислоты. Вы увидите жёлтое окрашивание. При добавлении 1—2 капель раствора аммиака вы сможете наблюдать пурпурное окрашивание вследствие образования аммонийной соли тетраметилпурпуровой кислоты.

Выделение танина из чая

50 г чая залейте 100 мл кипятка и прокипятите 5—10 минут. Раствор профильтруйте. 2 мл полученного фильтрата оставьте для определения содержания в нём витамина С. В оставшийся фильтрат добавьте 10—15 г ацетата свинца — выпадает осадок танната свинца. С него аккуратно слейте жидкость, промойте его горячей водой несколько раз, чтобы удалить избыток ионов свинца. Отфильтруйте осадок и промойте его 10—20 мл 2%-го раствора серной кислоты. В фильтрат добавляйте по каплям 1%-й раствор гидроксида бария для нейтрализации избытка кислоты в виде осадка сульфата бария, который ещё раз отфильтруйте. Полученный прозрачный раствор и содержит танин, который выпаривают на водяной бане.

Качественные реакции на танин

Полученный танин разделите на две пробирки. В первую добавьте воды и несколько капель хлорида железа (III). Вы видите, что раствор окрасился в тёмно-фиолетовый цвет. Во вторую пробирку долейте раствор ванилина в соляной кислоте — наблюдается малиновое окрашивание. Последняя реакция является качественной не только на танин, но и на целый класс органических соединений — катехинов.

Определение витамина С в чае

Это исследование основано на том, что аскорбиновая кислота легко окисляется иодом. 2 мл отфильтрованного чайного раствора (см. *Выделение танина из чая*) вылейте в колбу и добавьте 8 мл воды и 1—2 мл раствора крахмала. В полученную смесь по каплям прибавьте раствор иода до появления синего окрашивания, которое не исчезает 10—15 секунд.

Определение витамина Р в чае

Столовую ложку сухого чая насыпьте в стакан и залейте 25 мл горячей воды. Дайте отстояться в течение 30 минут, затем профильтруйте. В колбу отмерьте 15 мл фильтрата, добавьте 15 капель индигокармина и 15 мл дистиллированной воды. Далее титруйте полученный раствор 0,05 н раствором перманганата калия до светло-коричневого цвета. Содержание витамина Р в чае определите по формуле:

$$S = 15 \cdot V,$$

где S — содержание витамина Р в чае; V — объём 0,05 н раствора перманганата калия, потраченного на титрование.

Сравните содержание танина, кофеина и витамина С в сортах чёрного и зелёного чая на основании визуальных наблюдений, а витаминов Р — по результатам количественного анализа.

9 Исследование молока

Молоко — ценный пищевой продукт, который содержит белки, жиры, углеводы, витамины, минеральные соли, ферменты и т. д. Содержание белков в магазинном молоке составляет 3—4%, жиров 2,7—6,0%, углеводов 4,5—5,0%. В России законодательно принята маркировка молока, которая позволяет отличать натуральное молоко от молочных напитков, изготовленных на основе сухого порошка. Тем не менее вам будет полезно исследовать и сравнить состав различных торговых марок натурального коровьего молока и молочных напитков.

Определение кислотности молока

Налейте в колбу 10 мл молока или молочного напитка, 20 мл дистиллированной воды и добавьте 5 капель спиртового раствора фенолфталеина. Содержимое колбы хорошо взболтайте и титруйте его 0,1 н раствором едкого натра до появления заметного розового окрашивания. Объём (мл) затраченного на титрование раствора щёлочи умножьте на 10. Результат этого математического действия и представляет собой кислотность молока, выраженную в условных единицах — градусах Тернера, которые рассчитываются на 100 мл молока или молочного напитка (отсюда понятно, почему объём щёлочи необходимо умножить на 10). Свежее молоко имеет 16—18 градусов кислотности из-за содержащегося в нём казеина — белка с кислотными свойствами, а также кислых солей ортофосфорной и лимонной кислот. Со временем кислотность молока возрастает из-за молочнокислого брожения лактозы. Предельная кислотность свежего молока — 20 градусов. Если кислотность выше, то молоко начинает скисать.

Определение содержания белков

Налейте в колбу 10 мл молока или молочного напитка, подогретого до +30 °С, 20 мл дистиллированной воды и добавьте 5 капель спиртового раствора фенолфталеина, содержимое колбы хорошо взболтайте и титруйте его 0,1 н раствором едкого натра до появления заметного розового окрашивания. После этого долейте в колбу 2 мл нейтрального раствора формалина (для его получения к 100 мл 40%-го раствора формальдегида добавляют 4—5 капель спиртового раствора фенолфталеина, который титруют щёлочью до появления бледно-розовой окраски). Перемешивайте содержимое колбы и отметьте исчезновение окраски. Затем проведите ещё одно титрование содержимого колбы — вновь до заметного розового окрашивания. Для расчёта содержания белков объём щёлочи, израсходованной на титрование после добавления формалина, умножьте на коэффициент 1,92.

Определение лактозы в молоке

Налейте в колбу 10 мл молока или молочного напитка, столько же воды и добавьте несколько капель уксусной кислоты для свёртывания молока. Выделившийся казеин отфильтруйте. Возьмите 5—10 мл фильтрата и проводите с ним реакцию «серебряного зеркала», которая свидетельствует о наличии в сахарах альдегидной группы. Содержащийся в молоке дисахарид лактоза при гидролизе образует два моносахарида — глюкозу и галактозу.

Исследование молока на содержание в нём бактерий — редуктивная проба

К 10 мл исследуемого молока или молочного напитка в химическом стакане добавьте 1 мл 1%-го водного раствора метиленовой сини. Поместите в термостат при температуре 40 °С, наблюдайте, сколько времени будет продолжаться обесцвечивание метиленовой сини. Если оно продолжается более 3 часов, то в 1 мл такого молока содержится менее 500 тыс. бактерий и оно относится к I классу; если 1—3 часа — бактерий до 4 млн и молоко относится ко II классу; если менее часа — бактерий до 20 млн и молоко относится к III классу.

Сравните состав различных торговых марок натурального коровьего молока и молочных напитков. Дайте практические рекомендации по их использованию в питании.

10 Определение качества мыла

Для определения качества мыла можно использовать хозяйственное и туалетное мыло различных марок. Полезно сравнить один вид мыла с другим, а также различные сорта туалетного мыла. Данные эксперимента занесите в таблицу 18.

ТАБЛИЦА 18
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА МЫЛА РАЗЛИЧНЫХ МАРОК

Мыло	Содержание			
	жирных кислот, %	щёлочности, мг	воды, %	примесей, %
Хозяйственное				
Туалетное «Dove»				
Туалетное «Детское» и др.				

Измельчите исследуемый образец мыла до мелкой стружки. Отмерьте 3—4 г измельчённого мыла с точностью до 0,1 г, поместите

в колбу или химический стакан объёмом 500 мл, добавьте 300 мл горячей воды и помешивайте стеклянной палочкой до полного растворения мыла. На дне могут остаться нерастворимые в воде примеси. Отфильтруйте их, высушите и взвесьте. Запишите массу примесей ($m_{\text{прим}}$) и объём мыльного раствора (V_p , мл).

Определение примесей, содержащихся в мыле

Рассчитайте содержание примесей в мыле по формуле:

$$w_{\text{прим}} = \frac{m_{\text{прим}}}{m} \cdot 100\%.$$

Шприцем на 20 мл возьмите пробу мыльного раствора и перенесите в колбу для титрования. Запишите объём пробы (V_p , мл). Добавьте к пробе 4—5 капель раствора фенолфталеина и титруйте 0,1 н раствором соляной кислоты до обесцвечивания розовой окраски мыльного раствора. Запишите объём раствора кислоты, израсходованной на титрование (V_1 , мл), и нормальную концентрацию соляной кислоты (C_{HCl} , моль/г).

К мыльному раствору, оттитрованному в присутствии фенолфталеина, добавьте 4—5 капель метилоранжа и вновь оттитруйте тем же раствором кислоты до появления первых признаков не исчезающего розового окрашивания. Запишите объём раствора соляной кислоты, необходимый для этой операции (V_2 , мл).

Каждое титрование повторите 2—3 раза, результаты усредните и используйте для дальнейших расчётов.

Вычисление щёлочности мыла по данным титрования

Свободная щёлочность мыла определяется наличием в растворе свободных гидроксид-анионов и измеряется по объёму кислоты, затраченной на титрование мыльного раствора в присутствии фенолфталеина.

Связанная щёлочность мыла определяется солями жирных кислот и измеряется по объёму кислоты, затраченной на титрование мыльного раствора в присутствии метилоранжа.

Общая щёлочность мыла — это сумма свободной и связанной щёлочности.

1. Сделайте расчёт объёма кислоты, необходимый для титрования мыльного раствора в присутствии фенолфталеина, по формуле:

$$V_{\text{HCl(ф/ф)}} = V_1 \cdot V_p / V_{\text{п}}.$$

2. Для определения свободной щёлочности вычислите содержание щёлочи ($A_{1(\text{щел})}$, моль/л) во всём растворе по формуле:

$$A_{1(\text{щел})} = A_{1(\text{HCl})} = C_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl(ф/ф)}}.$$

3. Найдите массу свободной щёлочности ($m_{1(\text{NaOH})}$, г) по формуле:

$$m_{1(\text{NaOH})} = 40 \cdot A_{1(\text{щел})} \cdot 10^{-3}.$$

4. Определите массовую долю свободной щёлочности мыла (w_1 , %) по формуле:

$$w_1 = m_{1(\text{NaOH})} \cdot 100/m.$$

5. Аналогично рассчитайте массовую долю связанной щёлочности:

$$V_{\text{HCl(м/о)}} = V_1 \cdot V_p/V_{\text{п}},$$

$$A_{2(\text{щел})} = A_{2(\text{HCl})} = C_{\text{HCl}} \cdot V_{\text{HCl(м/о)}},$$

$$m_{2(\text{NaOH})} = 40 \cdot A_{2(\text{щел})} \cdot 10^{-3},$$

$$w_2 = m_{2(\text{NaOH})} \cdot 100/m.$$

6. Найдите общую щёлочность анализируемого образца мыла (w , %):

$$w = w_1 + w_2.$$

При анализе жидкого калиевого мыла щёлочность определяется титрованием с гидроксидом калия.

Вычисление содержания жирных кислот в мыле по связанной щёлочности

Так как твёрдые мыла — это натриевые соли преимущественно стеариновой, олеиновой и пальмитиновой кислот, относительные молекулярные массы которых соответственно 284,47, 282,45 и 256,42 г/моль, то для расчётов за эквивалент жирных кислот можно принять 274,44 г/моль — это среднее значение молекулярных масс трёх перечисленных кислот.

1. Найдите массу жирных кислот в исходной пробе мыла по формуле:

$$m_{\text{жир. к-т}} = 274,44 \cdot A_{2(\text{щел})} \cdot 10^{-3}.$$

2. Вычислите массовую долю жирных кислот по формуле:

$$w_{\text{жир. к-т}} = m_{\text{жир. к-т}}/m.$$

Определение содержания воды в мыле

Взвесьте образцы мыла, измельчённого в мелкую стружку, и запишите массу этих образцов (m_1 , г). Высушите образцы, это лучше делать в сушильном шкафу при +100 °С. Но можно сушить и при комнатной температуре, тщательно отжав мыло между листами фильтровальной бумаги, или на батарее центрального отопления. Взвесьте высушенные образцы (m_2 , г) и вычислите массовую долю воды в мыле по формуле:

$$w_{\text{H}_2\text{O}} = (m_1 - m_2/m_1) \cdot 100\%.$$

Постройте диаграммы по различным показателям качества хозяйственного и различных марок туалетного мыла.

Предложите использование тех или иных сортов туалетного мыла для ухода за кожей различного типа (сухой, жирной, нормальной). Обоснуйте свои рекомендации.

11 Изучение влияния музыки на динамику умственной работоспособности человека

Почти все современные школьники постоянно слушают различную музыку — когда делают уроки или занимаются спортом, когда едут в транспорте или отдыхают. Существует мнение, что у людей, послушавших музыку Моцарта и отвечавших на вопросы стандартного IQ-теста, отмечали повышение интеллекта. В то же время считается, что, например, тяжёлый рок оказывает негативное влияние на динамику умственной работоспособности человека, да и в целом отрицательно сказывается на его мышлении.

Умственная работа — это деятельность, связанная с приёмом и переработкой информации, требующая напряжённого функционирования процессов внимания, памяти, мышления, эмоциональной сферы. Умственный труд характеризуется работоспособностью и утомлением.

Работоспособность — это возможность поддерживать должный уровень производительности умственного труда в течение длительного времени.

Утомление — это временное уменьшение работоспособности, вызванное интенсивной или длительной работой.

Проведение опроса

Для того чтобы оценить, как часто и какую музыку слушают ваши одноклассники, проведите следующий опрос.

1. Какую музыку вы предпочитаете слушать?
 - а) классику
 - б) тяжёлый рок, металл
 - в) популярную
 - г) другую (какую именно)
2. Как часто вы слушаете музыку?
 - а) постоянно
 - б) стабильно 2—3 часа в день
 - в) очень редко по настроению
 - г) другой вариант (какой именно)
3. Как долго вы слушаете музыку в наушниках?
 - а) всё свободное время
 - б) несколько часов
 - в) несколько минут
 - г) другой вариант (какой именно)
4. Бывает ли, что после прослушивания музыки у вас болит голова?
 - а) да
 - б) нет
5. Служит ли музыка фоном, когда вы делаете уроки?
 - а) да
 - б) нет

Подсчитайте процентное соотношение ответов и составьте диаграммы для презентации результатов опроса.

Проверка влияния различной музыки на динамику умственной работоспособности школьников

Это исследование проводится с помощью таблицы В. Я. Анфимова (1879—1957) раз в неделю в течение месяца в одно и то же время, чтобы учесть изменения динамики умственной работоспособности на протяжении дня и недели. Каждый раз эксперимент проводится под разную музыку — классику, популярную эстрадную, тяжёлый рок, и один раз, для сравнения, — в тишине.

Раздайте одноклассникам таблицы Анфимова (табл. 21), попросите подписать их. Затем пусть они возьмут шариковую ручку и поставят ведущую руку на локоть. Внимательно просматривая каждую строчку слева направо, им надо вычёркивать буквы Х и И косой чертой. Напишите эти буквы на доске. Спросите одноклассников, понятно ли задание, попросите двух-трёх из них повторить задание. Затем по команде «начали работать» включите секундомер и сотрите запись с доски.

Через 2 минуты командой «стоп» прекратите работу и попросите их отметить знаком уголка (┐) то место на строке, где каждого застал сигнал «стоп».

Для того чтобы одноклассники не привыкали к одному и тому же заданию на Х и И, в следующий раз используйте сочетания других букв, например: Х и А, В и К, С и А, Н и Е.

Соберите таблицы и подсчитайте результаты: объём работы — количество просмотренных знаков (уголков), качество работы — количество допущенных ошибок. Каждая пропущенная строчка исключается из общего числа просмотренных строк, но считается за одну допущенную ошибку и прибавляется к общему числу ошибок. Запишите все данные исследования в таблицу 19, сравните с результатами, полученными при работе в тишине. Результаты сравнения занесите в таблицу 21.

ТАБЛИЦА 19
ИЗМЕНЕНИЕ УМСТВЕННОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЧЕЛОВЕКА
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДА МУЗЫКИ

Окружающий звуковой фон	Критерии оценки изменения работоспособности		
	Объём выполненной работы (количество просмотренных знаков)	Качество работы (количество допущенных ошибок)	Динамика работоспособности
Тишина			
Классика			
Эстрадная музыка			
Тяжёлый рок			

Таблица 20

ТАБЛИЦА АНФИМОВА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ
УМСТВЕННОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

СХЛВСХЕВИХИАИСИХВКСНЛИСЕХВХЕНАИСНЕВХ
АКНАВНХИВСНАВСАВСИАЕКЕАХВКЕСВСНАИСАИ
СНАВХНВКНХИСХВХЕКВХИВХЕИСКЕИНАИЕККХК
ИКХЕКВКИСВХИХАКХНСКАИСВЕКВХНАИСНХЕКХ
ИСНАКСКВХКВНАВСНИСНАХКЕКХВИСНАИХВИКХ
ИСКАИКАЕХКИСНАИКХЕХЕСНАИСБККХВАИСНЛХ
ЕКЕХСКАКСВЕЕВЕАИСНАСНКИВКЕСИКНЛЕНКХКВ
ИХКАКСКХКЕКНВИСНКХВЕХСНАИСХАИКИВЕВНК
ВХАВЕИВИСНААИСНАЕХКВЕНВХКЕАИСНККЕИВА
КСВЕИКСНАВАКЕСВКАХВЕИВНАХИЕНАИКВИЕАВ
ВКНИЕСАВИЕХЕВНАИЕННКЕСНКСВХИЕСВХКНВВС
КНКСХАИЕКЛСНЛИСВКХЕВХЕИВКАИСНАСНАИСХ
АКВНЕЕВКВНАИСНЛИСНКЕВКХЕВКХСНЕИСНАИС
НКВКХВЕАВСНАХКАСЕСНАИСЕСХКВАИСНАСАВК
ХСНЕИСХИХЕКВИКВЕНАИЕНЕКХАВИХНИВИХКХЕ
ХНВИСНВСАЕХИСНАХНКЕХВИВНАЕИСНВИАЕВАЕ
НХВХИСНАЕИЕКАИВЕКЕХКЕИСНЕСАЕИХВКЕВЕИС
НАЕАИСНКВЕХИКХНКЕАИСНАЕАКАЕКХЕВСКХЕК
ХНАИСНКВЕВЕСНАИСЕКХЕКНАИСНИСНЕИСНВИЕ
КХВХЕИВНАКИСХАИЕВКЕКВИЕХИСНАИЕВХВКСИ
СНАИАИЕНАКСХКИВХНИКИСНАИВЕСНАКНЕХССН
АИКВЕХКВКЕСВКСНХИАСНАКСХКХВХЕАЕСКСЕА
АКИСНАИКХВСХНВИЕХАЕСВЕИСНАИЕХКЕХКЕИХ
НВХАКЕСНАИСАКВСНХАЕСХАИСНАЕНКИСХКЕХВ
ХСКНЕИНАСЕЕКХЕКНАИВКХКЕХИСНАИХКАХЕНА
ИЕИКВКЕИСНАИХНЕХВКВИЕХАИЕХЕКВСНЕИЕСВН
ЕВИСНАЕАХНКХСНАХСИСНАИЕИНЕВИСНАИВЕВХ
СИСВАИЕВХЕИХСКЕИЕКХИЕКЕВХВАЕСНАСНКИСХ
ЕАЕХКВЕХЕАИСНАСВАИСЕВЕКЕХВЕКХСНКИСЕКА
ЕКСНАИИЕХСЕХСНАИСВНЕКХСНАИААВЕНАХИАК
ХВЕИВЕАИКВАВИХНАХКСВХЕХИВХАИСНАВНСИЕ
АХСНАНАЕСНВКСНХАЕВИКАИКНКНАВСНЕКВХКИ
АЕСВКХЕКСНАКСХВХКВСНХСВЕХКАСНАИСКСХК
ЕСНАИСНХАВКЕВХКИЕИСНАИНХАСНЕХКСХЕВКХ
ЕИХНАИХЕВХЕНВИХНКВХЕКНАИСНХАИВЕНАИХН
КХВХЕНАИСНВКЕВХАИСНАХКВНВАИЕНСХВКХЕА
ИСНАВХСВКАХСНАКИСНКЕКНСВАИСВАЕХСХВАИ
СНАЕКХАИВНАВКВЕХНААЕНКАИСХАИСНХИСВКВ
СЕКХВЕКИСНАИСНАИСКВЕСВИСКАИКВККНВХСК
ВНАИЕНИСНАИХАВКНВБХВАНКИЕХЕВХЕВНАИСК
АИАНАКХКВКЕВЕКВНХИСКАИСНВХАВХВНАИСНХ
СХВКИСНАИЕХЕКХНАИСНВХХВЕИСНХВКХКНАХК
ВНХВКСНХНАИСНВКАХСВКХВХАИСННАХНХВХВХ

Динамика умственной работоспособности			
Тишина	Классическая музыка	Эстрадная музыка	Тяжёлый рок

Сделайте выводы о влиянии различной музыки на динамику умственной работоспособности школьников. Скажите, как долго в течение дня и как громко можно слушать музыку без последствий для здоровья. Приведите примеры отрицательного и положительного влияния музыки на здоровье человека (для ответа используйте возможности Интернета).

12 Исследование пылевого загрязнения воздуха в помещении

Пыль представляет собой мелкие твёрдые частицы (средний диаметр 0,005 мм) органического или минерального происхождения. В её состав входят фрагменты насекомых, шерсти животных, перьев птиц, волос и кожи человека, целлюлозы от книг и газет, споры плесневых грибов и бактерии, а также микроскопические частицы разрушающейся одежды из тканей природного происхождения — хлопка, льна. В настоящее время в домашней и офисной пыли обнаружено уже 150 видов клещей, которые не столь опасны сами по себе, как их продукты жизнедеятельности, которые являются основной причиной аллергии у людей. Кроме того, частицы пыли способны проникать прямо в лёгкие из-за своих малых размеров, поэтому особенно опасны для людей, страдающих от астмы.

Отбор проб

На чистые предметные стёкла нанесите по капле воды. Положите их на 5 минут на различные исследуемые поверхности в помещении (стол, подоконник, шкаф и т. п.), которые находятся на высоте от 0,5 до 1,5 м от пола. Накройте предметное стекло покровным и настройте микроскоп.

Исследование пылевого загрязнения

Рассмотрите все подготовленные микропрепараты при одном и том же увеличении. Посчитайте число пылинок в поле микроскопа.

Оценка уровня пылевого загрязнения

По результатам наблюдений определите визуальный уровень пылевого загрязнения в помещении в баллах: 0 — отсутствие пыли, 1 — слабая запылённость, 2 — средняя, 3 — сильная, 4 — очень сильная. Занесите результаты в таблицу 22.

Таблица 22
ПЫЛЕВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА

Место отбора пробы	Уровень пылевого загрязнения

Проведите такую же работу после проветривания помещения и после влажной уборки. Сравните результаты, сделайте выводы.

Ответьте на следующие вопросы, используя возможности Интернета.

1) По данным учёных, самыми распространёнными бактериями, «обитателями» квартир и офисов, являются эшерихия коли, сальмонелла, стрептококк, стафилококк золотистый, клебсиелла пневмония. Какие заболевания вызывают данные бактерии? Каковы симптомы этих болезней и опасность, которую они несут?

2) Какие вирусы могут быть в жилых помещениях? Какие болезни они вызывают?

13 Изучение коры деревьев и кустарников

Изучение органолептических показателей коры деревьев и кустарников

Выберите для изучения определённый участок леса, лесопарка, пришкольной территории. Определите виды исследуемых растений. Исследуйте кору растений на разной высоте от земли. Изучите их цветовую гамму, запах и характер поверхности на ощупь (тёплая, прохладная, гладкая, шершавая, бугристая, потрескавшаяся и т. д.). Занесите все данные в таблицу 23.

Таблица 23
ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОРЫ ДЕРЕВЬЕВ И КУСТАРНИКОВ

Дерево, кустарник	Показатели коры		
	цвет	запах	характер поверхности

Составление коллекции и описание лекарственных свойств коры

Возьмите образцы коры деревьев исследуемого участка, составьте из них коллекцию.

Сделайте снимки коры деревьев с помощью цифрового фотоаппарата. Используя возможности Интернета и другие источники, опишите лекарственные свойства коры (если таковые имеются) исследуемых видов растений.

Обследование ближайшего городского лесопарка на предмет наростов — «опухолей» растений

Причиной таких наростов могут быть различные воздействия — механические, химические, экологические, а также паразитарные заболевания деревьев. Сфотографируйте «опухолы» растений и установите частоту встречаемости наростов среди различных пород деревьев. Сделайте вывод о зависимости количества наростов на коре деревьев от их видовой принадлежности, т. е. об устойчивости тех или иных деревьев к экологической обстановке исследуемой территории. Предложите свой вариант исследования возможной зависимости территориального распределения наростов на деревьях от экологической ситуации района (качество воды, воздуха, загрязнённости почв).

14 Изучение зависимости здоровья людей от состояния атмосферы

Целью данного исследования является анализ влияния погодных условий и геомагнитных возмущений на некоторые параметры здоровья человека (артериальное давление, общее состояние организма) на протяжении календарного месяца. Для этого необходимо использовать данные центра геомагнитных наблюдений, результаты измерения артериального давления у участников эксперимента и данные социологического опроса населения разных возрастов.

Изучение литературы

Подберите литературу, посвящённую влиянию погодных условий и геомагнитных возмущений на самочувствие человека, изучите её.

Измерения атмосферного давления

В течение месяца ежедневно измеряйте атмосферное давление с помощью барометра-анероида, температуру и влажность воздуха — с помощью термометра и психрометра. Если у вас нет таких приборов, то найдите информацию об этих параметрах состояния воздуха, а также о погоде и геомагнитной обстановке, используя возможности Интернета или другие источники (радио, телевидение).

Измерение артериального давления у людей и социологический опрос

У участников вашего исследования (пять человек разного возраста) измеряйте артериальное давление и в процессе социологического опроса выявляйте общее состояние их организма: есть ли у них головные боли, слабость, головокружение и прочие признаки недомогания.

Занесите результаты исследования в таблицу 24, проанализируйте полученные данные и сделайте выводы.

Таблица 24
ЗАВИСИМОСТЬ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА ОТ СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ

Дата	Состояние атмосферы				Параметры здоровья человека		Имя исследуемого
	Температура, °С	Влажность, %	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Геомагнитная обстановка	Артериальное давление, мм рт. ст.	Состояние организма	

15 Изучение освещённости рабочих столов в кабинетах и дома

Освещённостью (E) некоторой поверхности называют отношение светового потока (Φ), равномерно распределённого по поверхности, к площади этой поверхности (S):

$$E = \frac{\Phi}{S}.$$

Единицей светового потока в СИ является *люмен* (лм). Световой поток зависит от мощности источника света и от длины волны излучаемого света. Например, лампа накаливания, излучающая свет в широком спектральном диапазоне, даёт световой поток примерно 14 лм на единицу мощности. Соответственно, если лампа имеет мощность 40 Вт, то даваемый ею световой поток равен 560 лм. Освещённость в СИ измеряют в *люксах* (лк): $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2$. Для чтения необходима освещённость 80—100 лк.

Целью данного исследования является экспериментальное изучение освещённости столов в кабинетах и дома, после чего можно будет сделать вывод, соответствует ли такая освещённость медицинским нормам.

Исследования выполняйте в такой последовательности:

1) изучите раздел оптики «Фотометрия», ознакомьтесь с основными понятиями фотометрии и фотометрическими величинами;

2) определите световой поток, даваемый настольной лампой на вашем столе, для этого посмотрите, какова мощность лампочки (это написано на ней самой), и вычислите световой поток, умножив 14 лм (световой поток, приходящийся на 1 Вт — единицу мощности лампочки) на её мощность;

3) измерьте площадь поверхности стола, освещённой лампочкой (если она имеет форму круга, то её площадь S равна: $S = \pi R^2$, где R — радиус окружности);

4) вычислите освещённость стола;

5) запишите результаты измерений и вычислений в таблицу 25, сделайте вывод о соответствии освещённости медицинским нормам;

6) повторите измерения и вычисления для других рабочих столов и других осветительных приборов: того же стола потолочным светильником, обеденного стола в кухне, стола в кабинете физики и т. п.

ТАБЛИЦА 25
ОСВЕЩЁННОСТЬ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Источник света	Световой поток Φ , лм	Площадь поверхности S , м ²	Освещённость E , лк

16 Исследование возможностей энергосбережения в квартире

В настоящее время в наших квартирах используется много электро-бытовой техники (осветительных и нагревательных приборов, телевизоров, компьютеров, электрических плит, стиральных машин, пылесосов, посудомоечных машин и т. п.) — потребителей электрической энергии. С одной стороны, стоит задача безопасной эксплуатации этих устройств, а потому электрическая проводка, предохранители, установленные у ввода проводов в квартиру, должны быть рассчитаны на

силу тока, соответствующую потребляемой электроэнергии. С другой стороны, необходимо экономить электроэнергию (задача энергосбережения), что связано с ограниченными запасами электрической энергии, а потому эксплуатация бытовой техники должна быть энергосберегающей.

Целью данного исследования является изучение электроприборов, имеющихся в квартире, их мощности и возможности электросбережения при их эксплуатации.

Исследования выполняйте в такой последовательности:

1) вспомните понятия работы и мощности электрического тока, закон Джоуля—Ленца, запишите соответствующие формулы;

2) составьте список электроприборов, находящихся в вашей квартире;

3) укажите для каждого электроприбора потребляемую им мощность, используя для этого паспорт прибора;

4) оцените потребляемую приборами мощность при их одновременном включении в сеть с учётом того, что все они включаются параллельно, а напряжение в сети 220 В;

5) оцените потребляемую мощность при одновременном включении обязательных приборов (лампа, плита, холодильник, чайник);

6) внесите все данные о мощности находящихся в квартире электроприборов в таблицу 26, предложите, как можно уменьшить потребление ими энергии;

7) сравните энергопотребление лампочки накаливания и светодиодной лампочки.

Сделайте выводы-рекомендации по энергосбережению в вашей квартире.

Таблица 26
ВОЗМОЖНОСТИ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

Электроприбор	Мощность, Вт	Предложения по экономии электроэнергии

Оглавление

Обращение к учащимся	3

ГЛАВА I. ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ И МЕТОДЫ ПОЗНАНИЯ МИРА

§ 1. Естествознание — совокупность научных знаний о природе ..	7
§ 2. Эмпирический уровень научного познания	17
§ 3. Теоретический уровень научного познания	24
§ 4. Язык естествознания	32
§ 5. Естественно-научные понятия, законы и теории	39
§ 6. Естественно-научная картина мира	47
§ 7. Миры, в которых мы живём	58
Практические работы	65
1. Наблюдение за горящей свечой	65
2. Наблюдение за прорастанием семян фасоли	67
3. Наблюдение за изменением состояния льда при нагревании	67

ГЛАВА II. МЕГАМИР

§ 8. Человек и Вселенная	71
§ 9. Законы движения небесных тел	76
§ 10. Приборы и аппараты для изучения Вселенной	82
§ 11. Солнце. Звёзды	88
§ 12. Солнечная система	98
§ 13. Галактики	109
§ 14. Происхождение и эволюция Вселенной	116
§ 15. Строение Земли. Литосфера	125
§ 16. Гидросфера	133
§ 17. Атмосфера	145
Практические работы	156
4. Изучение звёздного неба с помощью подвижной карты	156
5. Изучение коллекции горных пород	157
6. Получение жёсткой воды и устранение её жёсткости	158
7. Изучение параметров состояния воздуха в кабинете	158

ГЛАВА III. МАКРОМИР

§ 18. Жизнь, свойства живого и их относительность	163
§ 19. Уровни организации жизни на Земле	172
§ 20. Многообразие живых организмов. Клетка и неклеточные формы жизни	182
§ 21. Экологические системы	190
§ 22. Биосфера	196
§ 23. Эволюционная теория	202
§ 24. Климат и приспособленность живых организмов к его условиям	211
§ 25. Свет и приспособленность к нему живых организмов. Электромагнитная природа света	222
§ 26. Внутренняя энергия макроскопической системы. Тепловое равновесие	233
§ 27. Температура и приспособленность к ней живых организмов ..	239
§ 28. Вода. Физические и химические свойства воды	246
§ 29. Роль воды в биосфере	256
§ 30. Соли и почва как абиотические факторы	266
§ 31. Биотические факторы	273
§ 32. Жизнь и время. Биоритмы	279
§ 33. Обмен информацией	287

Практические работы

8. Распознавание органических соединений	295
9. Изучение строения растительной и животной клетки	295
10. Изучение микроскопического строения животных тканей	296
11. Изучение простейших	296
12. Изучение взаимосвязей в искусственной экосистеме (аквариуме) и составление цепей питания	296
13. Изучение бытовых отходов	297
14. Изучение приспособленности организмов к среде обитания ..	298
15. Изучение волновых свойств света	298
16. Исследование среды раствора солей и сока растений	299
17. Изучение состава почвы	300
18. Измерение удельной теплоёмкости воды	300
19. Изучение изображения, даваемого линзой	301

ПРОЕКТНЫЕ И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

1. Качественное определение важнейших примесей в воде	304
2. Способы улучшения качества воды	308
3. Определение жёсткости воды	310
4. Определение растворённого кислорода в воде по методу Винклера	312

5. Исследование жевательной резинки	314
6. Исследование шоколада	316
7. Исследование чипсов	317
8. Исследование чая	318
9. Исследование молока	320
10. Определение качества мыла	321
11. Изучение влияния музыки на динамику умственной работоспособности человека	324
12. Исследование пылевого загрязнения воздуха в помещении ..	327
13. Изучение коры деревьев и кустарников	328
14. Изучение зависимости здоровья людей от состояния атмосферы	329
15. Изучение освещённости рабочих столов в кабинетах и дома. .	330
16. Исследование возможностей энергосбережения в квартире. .	331

Учебное издание

Габриелян Олег Сергеевич
Остроумов Игорь Геннадьевич
Пурышева Наталия Сергеевна
Сладков Сергей Анатольевич
Сивоглазов Владислав Иванович

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ

10 класс

Базовый уровень

Учебник

Центр химии и экологии

Ответственный за выпуск *Л. Ю. Таценко*
Ответственный редактор *Л. Ю. Нешумова*
Художественный редактор *М. В. Мандрыкина*
Макет *А. А. Шуваловой*
Художественное оформление *А. А. Шуваловой*
Технический редактор *И. В. Грибкова*
Компьютерная вёрстка *Г. А. Фетисовой*
Корректор *Г. И. Мосякина*

Дата подписания к использованию 27.10.2023. Формат 70 × 100/16.

Гарнитура «Школьная». Усл. печ. л. 27,09.

Тираж экз. Заказ № .

Акционерное общество «Издательство «Просвещение».

Российская Федерация,

127473, г. Москва, ул. Краснопролетарская, д. 16, стр. 3, помещение 1Н.

Адрес электронной почты «Горячей линии» — **vopros@prosv.ru**.