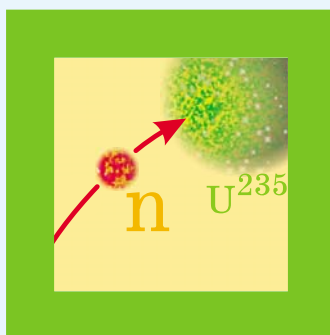




лабиринт



10

класс

Естествознание

БАЗОВЫЙ
УРОВЕНЬ

Естествознание

10
класс

Учебник
для общеобразовательных
организаций

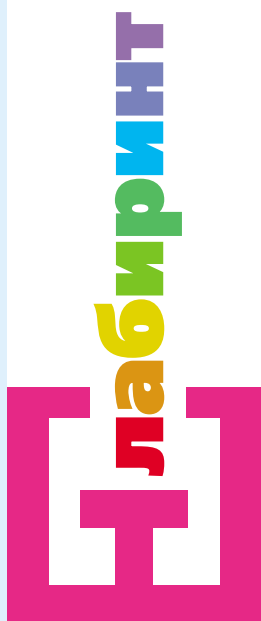
Базовый уровень

Под редакцией
проф. И. Ю. Алексиной

Допущено
Министерством просвещения
Российской Федерации

9-е издание, стереотипное

Москва
«Просвещение»
2022



УДК 373:502+502(075.3)
ББК 20я721
Е86

Серия «Лабиринт» основана в 2004 году

На учебник получены **положительные** заключения **научной** (заключение РАО № 486 от 14.11.2016 г.), **педагогической** (заключение РАО № 175 от 19.11.2016 г.) и **общественной** (заключение РКС № 169-ОЭ от 22.12.2016 г.) экспертиз.

Авторы: д-р пед. наук **И. Ю. Алексашина**, д-р биол. наук **К. В. Галактионов**, д-р хим. наук **И. С. Дмитриев**, д-р физ.-мат. наук **А. В. Ляпцев**, д-р пед. наук **И. И. Соколова**, д-р пед. наук **Л. М. Ванюшкина**

В создании книги приняли участие: канд. пед. наук О. К. Абдулаева, Н. К. Горшкова, О. А. Ивашедкина, канд. пед. наук Е. В. Иваньшина, канд. пед. наук О. В. Малярчук, С. И. Смирнов

При подготовке данного издания использованы иллюстративные материалы ООО «Диамедиа», Picvario, Shutterstock, Фотобанка Лори, © «РИА Новости»

В соответствии со ст. 1274 ГК РФ в данном издании в качестве иллюстраций использованы произведения художников: *М. К. Эшера* (с. 12, 72, 81, 84, 244) — Эшер: Графика / М. К. Эшер. — М.: Taschen/Арт-родник, 2001; *Е. И. Герасимчука, Ю. Н. Куликова, О. Э. Попова, Н. А. Флоренской* (с. 108, 149, 218, 220) — Биология: беспозвоночные животные: пособие для учащихся / В. Р. Дольник, М. А. Козлов. — М.: Просвещение, 2005. — (Линия жизни).

Издание выходит в pdf-формате.

Естествознание. 10 класс : учеб. для общеобразоват. организаций : базовый уровень : издание в pdf-формате / [И. Ю. Алексашина и др.] ; под ред. И. Ю. Алексашиной. — 9-е изд., стер. — Москва : Просвещение, 2022. — 272 с. : ил. — (Лабиринт).

ISBN 978-5-09-101684-0 (электр. изд.). — Текст : электронный.

ISBN 978-5-09-087479-3 (печ. изд.).

Предлагаемый учебник — элемент информационно-образовательной среды предметной линии УМК по естествознанию «Лабиринт» для 10—11 классов. В нём рассмотрены вопросы о структуре и наиболее общих законах мира природы, пространственно-временных масштабах Вселенной, важнейших открытиях и достижениях в области естествознания, о движении в природе, его формах и видах, эволюционной картине мира.

Интегрированный курс построен в соответствии с требованиями ФГОС. Методическая концепция курса предусматривает организацию материала в соответствии с разными формами учебной деятельности.

Учебник предназначен для учащихся общеобразовательных школ, изучающих естествознание на базовом уровне.

УДК 373:502+502(075.3)
ББК 20я721

ISBN 978-5-09-101684-0 (электр. изд.)
ISBN 978-5-09-087479-3 (печ. изд.)

© Издательство «Просвещение», 2016, 2019
© Художественное оформление.
Издательство «Просвещение», 2016, 2019
Все права защищены

ВВЕДЕНИЕ

Естествознание — это интегрированный учебный предмет, который поможет сформировать представление о мире как единой целостной системе.

Содержание учебника разделено на пять глав. В каждой главе материал структурирован в виде тематических модулей, составленных из уроков-параграфов разного типа. **Уроки-лекции** содержат необходимый теоретический материал. **Уроки-практикумы** предусматривают проведение теоретических и/или практических исследований (в помощь дана рубрика **ПОДСКАЗКА**). Самостоятельная деятельность по поиску информации, подготовке и презентации сообщений, а также совместное обсуждение обозначенных в модуле тем предполагается в рамках **уроков-семинаров** и **уроков-конференций**.

В начале каждого урока-параграфа приведён **эпиграф**, содержание которого позволяет лучше понять смысл учебной информации.



Проблемные вопросы определяют логику изложения материала параграфа.

Эти слова — основные изучаемые в параграфе понятия; такие слова, впервые встречающиеся в тексте, выделены **жирным шрифтом**.

Ключевые слова

Эта рубрика ориентирует на знания, полученные в учебных курсах основной школы и важные для понимания новой информации.

Из старого портфеля

В эту рубрику помещены выводы и новые знания, приобретаемые в процессе изучения параграфа.

В новый портфель

Так выделен дополнительный материал — интересные факты.



Заканчивается параграф **вопросами и заданиями для самостоятельной работы**: ▷ — вопросы на воспроизведение изученного материала; ▷ — вопросы на размышление; ▷ — творческие задания.

Рубрика **«Образ жизни»** подсказывает, какие сведения из параграфа можно и нужно использовать в повседневной жизни.

Рубрика **«Мысль и образ»** — это диалог естественно-научного и художественного способов познания мира.

Каждая глава учебника дополнена обобщением в ракурсе ведущих идей курса: — идеи единства, целостности и системной организации природы; — идеи взаимозависимости человека и природы; — идеи гармонизации системы природа—человек. Итоговое практическое задание или проект также нацелены на осмысление этих идей.

Раздел **«Маршруты самообразования»**, размещённый в приложении к учебнику, содержит алгоритмы поиска информации и написания реферата, советы по работе с научной литературой и подготовке устного выступления. В нём приведён также список безопасных образовательных интернет-ресурсов.

Предметный указатель поможет ориентироваться в учебнике при поиске нужной информации.

1

ГЛАВА

СТРУКТУРА ЕСТЕСТВЕННО- НАУЧНОГО ЗНАНИЯ: МНОГООБРАЗИЕ ЕДИНСТВА

1 ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ КАК ПОЗНАВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Урок-лекция

Лучше подвергнуть долгому испытанию однажды открытую истину, чем допустить легкомысленное признание всего, что создаётся пылким воображением человека.
Ж.-Б. Ламарк

?

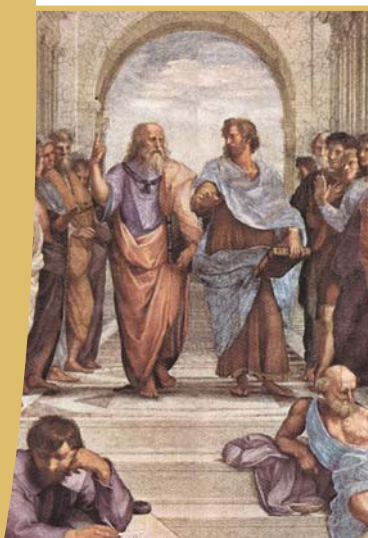
В чём состоят особенности естествознания? Чем отличается научное знание от других видов знания?

Ключевые
слова

Естествознание • Наука

Из старого
портфеля

Физика — наука о природе (Физика, 7—9 кл.). Химия — наука о веществах, их строении, свойствах и превращениях (Химия, 8—9 кл.). Роль биологии в формировании современной естественно-научной картины мира, практической деятельности людей (Биология, 6—9 кл.). География — наука о Земле (География, 6—7 кл.).



В центре этой фрески изображены греческие философы — Платон, держащий в одной руке рукопись своего диалога «Тимей», а другой указывающий на небо, и Аристотель, держащий свой трактат об этике и указывающий на землю. Как вы думаете, о чём они спорят?

Рафаэль Санти.
Афинская школа
(фрагмент)

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ КАК ПОЗНАВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ. Естествознание прошло длительный путь развития. В XVI—XVII вв. оно обрело научную форму. Поэтому, прежде чем говорить об особенностях познания природы, необходимо выяснить, что же такое наука и каковы характерные черты научного метода.

Существует множество разных определений понятия «наука». Все они сходятся на том, что **наука** — это особый вид человеческой деятельности, главной задачей которого является получение нового **знания**. Науку интересуют самые разнообразные предметы

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

и явления. Она изучает природу, человека, общество, культуру и даже самую себя. Но это не значит, что наука берётся за решение любых вопросов. На каждом этапе своего развития наука задаётся определённым кругом вопросов, тогда как другие остаются вне её поля зрения. К примеру, вопрос о том, как связаны между собой сила тока, идущего по проводнику, напряжение и сопротивление, является (по крайней мере, так было с конца XVIII в.) вполне осмысленным научным вопросом. Ответ на него, как вы знаете, даёт закон Ома, но вопрос «Зачем существует закон Ома?» не является научным.

Разумеется, человек получает знания о мире не только в результате научных исследований. Многое мы узнаём из произведений литературы и искусства, философских трактатов, а также из обыденной жизни. Вопреки широко распространённому мнению «истинное» и «научное» совсем не одно и то же. С одной стороны, вы можете иметь истинное знание, но оно необязательно будет научным (например, знание о том, что ваш приятель прогулял урок по естествознанию). С другой стороны, далеко не каждое научное утверждение является истинным. История науки знает немало случаев, когда некоторая теория в течение долгого времени принималась научным сообществом как истинная, активно и плодотворно использовалась, приводя к важным и, как потом выяснялось, достоверным выводам, но тем не менее в итоге сама она оказывалась ложной. Типичный пример — теория теплорода. В XVII — начале XIX в. широкое распространение получило представление о тепле как особой тонкой материи («флюиде»). Эта материя, переносящая тепло, была названа *теплородом*. И хотя к середине девятнадцатого столетия теплородная теория стала фактом истории науки, с её помощью, пока она господствовала, удалось добиться многих важных результатов. Например, в рамках этой теории началось изучение тепловых явлений при химических реакциях, что привело к становлению научной термохимии, открытию закона Гесса и развитию других научных направлений.

ХАРАКТЕРИСТИКА НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ. Чем же наука отличается от других видов человеческой деятельности?

1. Для науки *получение знания о мире* служит абсолютным приоритетом, главной целью, определяющей научную деятельность. Этого нельзя сказать о других видах человеческой деятельности, главные цели которых иные, даже если используются научные достижения и проводятся специальные научные исследования (в юриспруденции или в военном деле). Так, например, в искусстве на первом плане стоит отношение художника к реальности, а не отображение её самой.

2. Для научного познания характерно стремление к *обоснованности* и *доказательности* получаемого знания. Это важнейшая особенность науки. Однако сами критерии обоснованности и доказательности заметно изменяются со временем. Истина, по словам Ф. Бэкона, дочь времени, а не авторитета.

В естествознании доказательность знания связана прежде всего с экспериментом. Если эксперимент воспроизводится при тех же условиях с получением того же результата, то результат является достоверным. Однако теоретическое объяснение результата эксперимента может быть неоднозначным и носить характер гипотезы. Нередко гипотеза требует дополнительной экспериментальной проверки.

3. Наука даёт не сумму знаний о мире, а *систематизированное знание*. Иными словами, научное знание — это не груда отдельных фактов, наблюдений и закономерностей. Научное знание определённым образом организовано. Оно включает такие фундаментальные положения (принципы), из которых можно вывести множество следствий. Научная теория в области своей применимости охватывает широкий круг явлений

и объектов. Так, механика может описывать с единых позиций и перемещение планет, и работу часов, и многие виды движений животных.

4. Научное знание имеет *открытый характер*, поскольку оно доступно для профессиональной, компетентной критики.

5. Научное знание стремится к устранению из него всякой *субъективности*, связанной со спецификой личности учёного, его мировоззрением, его предпочтениями и вкусами.

6. Наука исходит из того, что всё сущее в мире может быть понято из него самого, без обращения к каким-либо надприродным силам.

7. Наука использует широкий арсенал методов и средств для познания мира (дедукцию и индукцию, анализ и синтез, абстрагирование и обобщение, идеализацию, аналогии, наблюдение, эксперимент, измерения и др.). Однако методы, используемые в разных науках, неодинаковы, различна степень математизации наук.

Наука подобна живой природе. Жизнь не может существовать, не воплощаясь во множестве форм. Так же и наука. Многообразие её методов и подходов обусловлено многообразием окружающего мира.

В новый портфель

Научную деятельность отличают следующие особенности:

- цель науки — получение знания о мире;
- научное знание должно быть объективно, обосновано, доказуемо, систематизировано, открыто для обсуждения и воспроизводимо.

??

- Чем различается процесс познания в естествознании и в гуманитарных науках? (Попробуйте сравнить научную деятельность физика и историка.)
- Продуктом науки являются не только знания. В чём же ещё состоит ценность науки?

2 ПРИРОДА В ЗЕРКАЛЕ НАУКИ

Урок-лекция

Главная цель естественных наук — раскрыть единство сил природы.

Л. Больцман

?

Что изучает естествознание? Можно ли объяснить природу средствами одной науки? Какова роль математики в естественно-научном познании?

Ключевые слова

Законы природы • **Редукционизм** • **Целостный подход** • **Системный подход**

Из старого портфеля

Физические законы. Состав атомного ядра (Физика, 7—9 кл.).

ЧТО ИЗУЧАЕТ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ. Естествознание изучает природу. Однако природный мир может быть предметом внимания не только учёного-естественника, но и писателя, художника, фотографа, да и во-

обще любого человека. Каждый может любоваться небом и закатом. Но профессиональный интерес учёного-естественника отличается от взгляда простого созерцателя. Его, учёного, интересует, почему небо голубое, а закат красный, а главное — какие **законы природы** определяют небесную голубизну и красоту заката.

Для естествоиспытателя природа — это первозданный мир, на который он смотрит под определённым углом зрения, считая этот мир естественно упорядоченным и закономерным.

**В новый
портфель**

СУЩЕСТВУЮТ ЛИ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ НАУКИ-ЛИДЕРЫ. Современное естествознание — система сложная, неоднородная и многоплановая. Традиционно выделяют некоторую совокупность наук, составляющих основу естествознания. К таким наукам относят физику, астрономию, химию, биологию, географию, геологию. Каждая из этих наук объединяет множество дисциплин. Так, физика включает механику, оптику, электродинамику, квантовую механику. Кроме этого, существует множество наук, возникших на стыке разных дисциплин, например астрофизика, физическая химия, биохимия. В течение долгого времени лидером естествознания считалась физика. Именно в ходе развития физики вырабатывались и вырабатываются основные модели мира и способы его познания. Своё приоритетное положение в естествознании физика утвердила ещё в XVIII в. во многом благодаря работам И. Ньютона. Вместе с тем универсальность методов физики приводила к попыткам свести теоретический и эмпирический материал всех естественных наук к физическим законам. Такой подход получил название «редукционизм» (от лат. *reductio* — возвращение).

Сама по себе идея **редукционизма** имеет древние корни. Например, Пифагор полагал, что в основе мироздания лежит гармония чисел. Аристотель считал, что мир подобен животному организму. В XVII в. Р. Декарт вдохновлялся идеей представления организма в виде механической машины. Идея сведения всех естественных наук к механике начиная с XVII в. получает широкое распространение. В XIX в. роль механики стала играть физика, именно её начали воспринимать как идеал естественной науки, к которому должны стремиться и в итоге быть сведены все остальные естественно-научные дисциплины.

Однако уже в XIX в. некоторые исследователи природы усомнились в принципиальной возможности редуцировать химию к физике, а биологию сделать разделом физики и химии.

В разное время слово «природа» понималось по-разному. К примеру, английский учёный XVII в. Роберт Бойль писал: «Природу в целом я называю Космическим Механизмом, то есть совокупностью всех механических свойств материальных тел — формы, массы, движения и т. д.». Совершенно иначе писал о природе Ф. И. Тютчев:

Не то, что мните вы, природа:
Не слепок, не бездушный лик —
В ней есть душа, в ней есть свобода,
В ней есть любовь, в ней есть язык...

Какой из приведённых взглядов на природу (или, может быть, какой-то иной) более близок вам и почему?

Фёдор Васильев. Перед грозой



МЫСЛЬ И ОБРАЗ

Сегодня большинство учёных принимают идею возникновения новых свойств у совокупности объектов, в результате чего целое приобретает свойства, отсутствующие у его частей. Эта идея является ведущей идеей **целостного подхода**.

Развитие науки второй половины двадцатого столетия ознаменовалось крупными успехами биологии, которая стала претендовать на лидерство в естествознании. Стало очевидным, что познание живого невозможно на основе редукции к физико-химическим закономерностям.

Успехи биологии были связаны не только с развитием методов исследования (например, рентгеноструктурный анализ привёл к открытию структуры ДНК), но и с новым методом познания — **системным подходом**. Этот метод основан на рассмотрении любых объектов природы как иерархически (от низших к высшим) организованных систем. Примерами могут служить природные системы (организм, экосистема, ландшафт), технические системы (часы, компьютер, ракета), социальные системы (система образования, здравоохранения). Понятие «система» широко используется и в конкретных науках (корневая система, система уравнений, дыхательная система).

Общая теория систем в 40-х гг. XX в. была разработана австрийским биологом Л. Берталани. Однако многие принципы системного подхода были описаны в работах отечественных учёных А. А. Богданова, В. И. Вернадского и др.

Почему понятие «система» можно использовать при изучении столь различных объектов или явлений? Рассмотрим свойства систем.

Основной признак, присущий любой системе, — её целостность. Это означает, что система обладает определённым свойством, которого не имеет какая-либо отдельная часть этой системы (элемент, звено, деталь).

Система состоит из отдельных частей, однако гряда деталей (например, разобранный часовой механизм) ещё не является системой. Система должна иметь внутреннюю упорядоченность — структуру, которая подразумевает взаимодействие компонентов. В биологических системах возникает единство внутренней структуры и функционирования именно благодаря организованности этого взаимодействия, появляется качественно новый объект, т. е. система, способная выполнять новую функцию (саморегуляцию процессов жизнедеятельности).

МАТЕМАТИЗАЦИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК. Специфическая особенность научных исследований в области естествознания состоит в широком использовании математики. Математика служит и средством познания, и языком естественных наук. Особенность математики заключается в том, что она анализирует определённые соотношения в какой-либо системе объектов, абстрагируясь от природы самой системы и объектов, т. е. выстраивает *математическую модель*.

В конце 30-х гг. XX в. было открыто деление ядра урана при столкновении его с нейтроном. При таком делении выделяется энергия в виде кинетической энергии новых образовавшихся ядер (рис. 1).

Как видно на рисунке, в результате процесса образуются три (иногда два) новых нейтрона, которые, сталкиваясь с другими ядрами урана, в свою очередь, могут вызвать деление их ядер. Допустим, что такое деление происходит через время Δt после захвата нейтронов. Попробуем вычислить, как со временем будет возрастать число разделившихся ядер. Ваших математических знаний достаточно для решения этой задачи. Если в момент времени $t = 0$ число разделившихся ядер N_0 , то через время Δt их число утроится, через время $2\Delta t$ произойдёт ещё одно утроение и т. д. Образуется геометрическая прогрессия: через время $n\Delta t$ число разделившихся ядер будет $3^n N_0$, т. е. спустя время $t = n\Delta t$ от начала деления число ядер будет определяться выражением $N(t) = 3^{t/\Delta t} N_0$.

Рис. 1

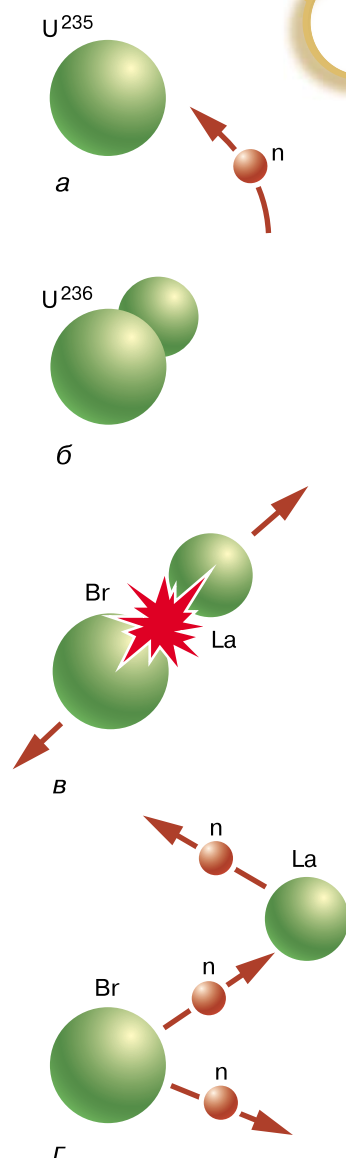
Деление ядра урана: а — захват ядром нейтрона; б — деформация возбуждённого ядра; в — разрыв ядра на две части; г — испускание нейтронов новыми ядрами

Процесс возрастания, описываемый таким законом, носит взрывной характер, поэтому соответствующая ядерная реакция протекает как взрыв и реализуется в атомной бомбе.

Аналогичные процессы происходят и в живой природе. Представьте себе абстрактную популяцию животных. Предположим, что животное данного вида достигает половой зрелости спустя время Δt после рождения, после чего каждая пара животных даёт потомство из шести детёнышей. Допустим, что время жизни животного после рождения детёныша много меньше величины Δt и что у животных достаточно корма и нет врагов. Попробуйте вычислить, с какой скоростью возрастает число животных со временем. Вы получите абсолютно те же самые результаты, что и при делении ядер урана. (Естественно, что время Δt в данном случае во много раз больше, чем в предыдущей задаче.) Конечно, рост реальной популяции со временем определяется более сложными законами, однако в ряде случаев этот рост носит взрывной характер, подобный ядерному взрыву.

Таким образом, совершенно различные по природе объекты (к рассмотренным выше примерам можно добавить химическую систему, в которой реализуется химическая взрывная реакция) описываются одинаковыми математическими уравнениями. Отсюда создаётся впечатление, что математические уравнения, по выражению Г. Герца, мудрее, чем мы.

Математика даёт естествознанию огромное разнообразие абстрактных структур и методов, которые сами по себе не связаны с реальностью. Естествознание же выбирает и использует только те из них, которые осмыслены с его позиций. Обращению к математическому аппарату должен предшествовать детальный анализ возможностей использования этого аппарата в данной области.



Естествознание — это система экспериментальных наук, имеющих общие объекты изучения и методы их исследования. Естествознание использует математические методы исследования в качестве языка описания, моделирования и прогнозирования различных явлений. Роль математических методов в естествознании зависит от специфики конкретной научной области.

**В новый
портфель**

??

- Решите задачу о росте числа животных в популяции при условии, что после рождения детёнышей животные живут столько же лет, сколько и до рождения, но уже не рождая новых детёнышей.
- Согласны ли вы с утверждением, что наука началась, когда человек перешёл от чтения и комментирования древних авторов, например Аристотеля, к изучению живой природы?

3 ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ В СИСТЕМЕ КУЛЬТУРЫ

Урок-семинар

Два мира есть у человека:
Один, который нас творил,
Другой, который мы от века
Творим по мере наших сил.

Н. Заболоцкий

?

Как отражают мир наука и искусство? Нужны ли гуманитарии естественно-научные знания? Нужна ли науке мораль?

ЦЕЛЬ СЕМИНАРА. Понять соотношение между такими компонентами культуры, как наука, искусство, мораль.

ПЛАН СЕМИНАРА

1. Содержание понятий: культура, наука, искусство, гуманитарные и естественно-научные знания, картина мира, мировоззрение.
2. Естественно-научная картина мира и её эволюция.
3. Взаимовлияние науки и искусства.
4. Проблема нравственности в науке.

Необходимые источники информации

1. Алексеев П. В. Наука и мировоззрение / П. В. Алексеев. — М.: Сов. Россия, 1987.
2. Библер В. С. От наукоучения к логике культуры. (Два философских введения в XXI век) / В. С. Библер. — М.: Политиздат, 1990.
3. Купцов В. И. Образование, наука, мировоззрение и глобальные вызовы XXI века / В. И. Купцов. — СПб.: Алетейя, 2009.
4. Фейнберг Е. Л. Две культуры. Интуиция и логика в искусстве и науке / Е. Л. Фейнберг. — М.: Век 2, 2004.
5. Чопра Д. Война мировоззрений: наука и духовность / Д. Чопра. — София, 2012.

Издавна две сферы проявления творческих возможностей человека — наука и искусство — ведут между собой спор: какая из них более верно отражает мир и какая нужнее человеку?

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 1

Что же такое культура, наука, искусство, гуманитарные и естественно-научные знания, картина мира, мировоззрение?

Найдите определения этих понятий в словарях. Обсудите, какие из них являются наиболее широкими. Есть ли разночтения в определениях понятий? Какое из понятий — картина мира или мировоззрение — является личностно образующим, значимым для деятельности человека и его отношения к действительности? Связаны ли между собой научная картина мира и мировоззрение?

Дополнительные источники информации

Философский словарь / под ред. И. Т. Фролова. — М.: Республика, 2001.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 2

Что такое естественно-научная картина мира? Как она изменялась в процессе развития естествознания (физическая, механическая, электродинамическая, квантово-полевая картина мира)? Каковы современные представления о естественно-научной картине мира и возможные варианты её эволюции?

Дополнительные источники информации

1. Виргинский В. С. Очерки истории науки и техники XVI—XIX веков / В. С. Виргинский. — М.: Просвещение, 1984.
2. Дягилев Ф. М. Из истории физики и её творцов / Ф. М. Дягилев. — М.: Просвещение, 1986.
3. Кедров Б. М. О великих переворотах в науке / Б. М. Кедров. — М.: Педагогика, 1986.
4. Кириллин В. А. Страницы истории науки и техники / В. А. Кириллин. — М.: Наука, 1986.

Слова для поискового запроса: естественно-научная картина мира.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 3

Приведите примеры взаимного влияния науки и искусства в наши дни. Как взаимодействуют наука и искусство в культуре?

Дополнительные источники информации

1. Мамзин А. С. Биология в системе культуры / А. С. Мамзин. — СПб.: Лань, 2001.
2. Мейлах Б. С. На рубеже науки и искусства / Б. С. Мейлах. — Л.: Наука, 1971.
3. Ритм, пространство, время в литературе и искусстве / отв. ред. Б. Ф. Егоров. — М.: Наука, 1984.

Слова для поискового запроса: взаимосвязь науки и культуры, наука и искусство, наука в системе культуры.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 4

Обсудите проблему нравственности в науке. Приведите примеры сложных с точки зрения общечеловеческой нравственности ситуаций, когда человек находится в условиях принятия решений о применении тех или иных научных открытий на практике.

Дополнительные источники информации

Горелов А. А. Человек — гармония — природа / А. А. Горелов. — М.: Академия, 2010.

Слова для поискового запроса: наука и общество, нравственность в науке.

ПОДВЕДЕНИЕ ИТОГОВ

Наука и искусство различаются методом постижения мира — рассудочным или чувственным, в большей степени логическим или образным. Они сливаются воедино в исторически определённой *картине мира* — результате всестороннего общественного познания действительности, зависящем от уровня развития науки, техники, искусства, культуры в целом.

4 КРИТЕРИИ НАУЧНОГО ЗНАНИЯ

Урок-практикум

Если на клетке слона прочтёшь надпись
«буйвол», не верь глазам своим.

Козьма Прутков

?

Астрология — это наука? Отвечает ли астрология критериям научного знания?

Из старого портфеля

Признаки и критерии научного знания (см. § 1).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Проверить с помощью звёздной карты, как строятся предсказания астрологов. Верны ли они сегодня? На какой астрономической базе построена астрология?

Оборудование: карта звёздного неба с накладным кругом.

ПЛАН РАБОТЫ

Последовательно выполнить задания и сделать вывод, чем отличается одна из естественных наук — астрономия — от астрологии.

1. Прослушайте гороскоп и сделайте выводы:
 - о предсказательной силе гороскопа;
 - о том, какими средствами пользуется астролог, чтобы каждый гороскоп стал узнаваем слушателем и приписывался себе.

ПОДСКАЗКА

Во время урока учитель (или ваш товарищ) зачитывает солнечный гороскоп — предсказания астролога о характере рождённых под разными знаками зодиака. Читаящий не называет знаки зодиака, о которых идёт речь, и изменяет привычный порядок следования созвездий в этом гороскопе.

Во время чтения отметьте по 10-балльной шкале, насколько черты, приписываемые рождённому под каждым зодиакальным знаком, соответствуют вашим чертам характера. Затем читающий перечисляет порядок знаков зачитанного гороскопа. Выясните, у скольких учащихся в классе совпали их знаки зодиака и предсказания, приписываемые этим знакам. Максимальные баллы: 8—10 из 10.



Как вы думаете, чем различается характер рассуждений и аргументации в науке и в тех областях, которые в данную эпоху не относят к науке? Может ли гравюра Эшера служить символом псевдонаучных рассуждений?

Мауриц Корнелис Эшер.
Водопад

Во время чтения отметьте по 10-балльной шкале, насколько черты, приписываемые рождённому под каждым зодиакальным знаком, соответствуют вашим чертам характера. Затем читающий перечисляет порядок знаков зачитанного гороскопа. Выясните, у скольких учащихся в классе совпали их знаки зодиака и предсказания, приписываемые этим знакам. Максимальные баллы: 8—10 из 10.

Оформление результатов

Укажите процент учащихся, для которых предсказания астрологов об их характере оказались точными.

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

2. Найдите на звёздной карте эклиптику — годичный путь солнечного диска по небесной сфере. Назовите и сосчитайте созвездия, которые она пересекает. Среди них 12 знакомых вам зодиакальных созвездий, которые используют в гороскопах, и одно «лишнее». Какое это созвездие? Как вы думаете, почему его не считают зодиакальным?

ПОДСКАЗКА

В 1922 г. 1-й Международный астрономический съезд определил современные границы созвездий, несколько «перекроив» небо. Теперь на звёздном небе 88 созвездий.

Оформление результатов

Запишите названия зодиакальных созвездий, укажите «лишнее».

3. Определите по звёздной карте, в каком созвездии было Солнце в день вашего рождения. Обсудите полученные результаты в классе. Как вы думаете, почему у большинства из вас зодиакальные созвездия, предсказанные астрологами, оказались соседними с теми, в которых действительно было Солнце?

ПОДСКАЗКА

Найдите на краю основного круга звёздной карты дату вашего рождения. Соедините её линейкой с центром карты. На пересечении этой линии с эклиптикой и находилось Солнце в день вашего рождения. В каком созвездии было Солнце? Совпадает ли это созвездие с вашим знаком зодиака? Знак зодиака — это $\frac{1}{12}$ часть эклиптики. Отсчёт знаков зодиака начинается от точки весеннего равноденствия (точка пересечения эклиптики и небесного экватора, в которой Солнце переходит из Южного полушария в Северное).

Оформление результатов

Напишите название вашего знака зодиака и название созвездия, в котором было Солнце в день вашего рождения.

Наука должна отвечать ряду критериев научного знания, среди которых предсказательная сила, верифицируемость (возможность установления истинности научных утверждений в результате их проверки на практике), системность и согласованность результатов. Пути астрологии и астрономии разошлись ещё в начале нашей эры. Окончательный разрыв произошёл в XVII в., когда сформировалась методология естественных наук. В соответствии с одним из положений этой методологии только проверка опытом позволяет судить о научности предсказаний.

Дополнительные источники информации

1. Шевченко М. Ю. Школьный астрономический календарь / М. Ю. Шевченко, О. С. Угольников. — М.: Планетарий, 2012.
2. Вронский С. А. Астрология: суеверие или наука? / С. А. Вронский. — М.: Наука, 1991.
3. Электронный учебник «Открытая астрономия» 2.6 ООО «Физикон».
4. <http://gotourl.ru/14504>

Слова для поискового запроса: астрономия, астрология.

ОБРАЗ ЖИЗНИ

К псевдонауке относятся также различные виды знахарства. Лечиться у знахаря может быть не так безобидно, как делать астрологические прогнозы. В цивилизованных странах лечить людей тем, кто не имеет медицинского образования и соответствующих лицензий, запрещено законом. При лечении пользуйтесь услугами только лицензированных медицинских учреждений и специалистов с медицинским образованием.

5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ

Урок-лекция

— ...Сколько же там ступенек?
— Сколько? Не обратил внимания.
— Вот-вот. Не обратили внимания.
А между тем вы видели!
В этом вся суть. Ну, а я знаю, что ступенек —
семнадцать, потому что я и видел, и наблюдал.
А. Конан Дойл

?

Что значит уметь наблюдать? Наблюдение и эксперимент в учебном и научном познании. Чем отличается наблюдение от эксперимента? Что означает измерить? Можно ли измерить неизмеримое?

Ключевые
слова

Наблюдение • Эксперимент • Гипотеза • Измерение

Из старого
портфеля

Физический эксперимент. Измерение физических величин (Физика, 8 кл.). Наблюдение, описание, измерение, эксперимент, моделирование (Химия, 8 кл.). Биологический эксперимент. Наблюдение, описание и измерение биологических объектов (Биология, 6—9 кл.).

НАБЛЮДЕНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ. Экспериментальные методы — основа естествознания. Наблюдательность, несомненно, помогает нам в повседневной жизни, учёбе. Это важное качество определяет число и характер увиденных и отмеченных нами деталей при знакомстве с различными явлениями и в конечном счёте объём материала, почерпнутого нами из практики, который затем мы будем анализировать. От этого зависит, насколько всесторонне мы рассмотрим предмет исследования или изучения и насколько глубоки и прочны будут наши знания. Процесс наблюдения тесно связан с умением внимательно следить за происходящим, сосредоточивать зрение, слух на чём-либо.

Научное **наблюдение** отличается от обычного созерцания тем, что позволяет приходить к ответам на поставленный исследователем вопрос. Оно всегда целенаправленно, сознательно организовано, методически обдумано, его результаты можно каким-либо образом оценить, записать, измерить. Существенным моментом научного наблюдения являются условия, в которых оно проводится. Важная особенность состоит в том, что сам наблюдатель не вмешивается в ход наблюдаемого процесса.

Исследователь знает, для чего проводится наблюдение, какая поставлена цель. Наблюдателя интересуют все детали исследуемого процесса. Чем больше деталей он заметит, тем больше получит материала для обдумывания, обработки, размышлений. Поэтому обязательно ведётся журнал наблюдений, где записываются все особенности происходящих процессов и их условия. Впоследствии часто приходится снова и снова возвращаться к этим описаниям. Журналы наблюдений должны

Примеры научных наблюдений:

- наблюдения астронома за движением планет;
- наблюдения биолога за ростом растений в естественных условиях.

долго храниться, они служат материалом для сравнения результатов разных исследователей. Наблюдение даёт материал для дальнейших исследований, позволяет сформулировать вопросы, на которые надо ответить, обозначить проблемы, которые следует решить.

В отличие от наблюдения **эксперимент** — это исследование каких-либо явлений путём создания новых условий, соответствующих целям исследования, или же изменения течения процесса в нужном направлении. Как правило, под экспериментом понимают практический, лабораторный метод исследования. Иногда используют так называемый мысленный эксперимент, когда исследователь мысленно моделирует процессы или системы, прогнозирует и описывает их поведение. Экспериментатор должен чётко представлять себе, какие параметры процесса он изменяет, чтобы определить, что влияет на результат, установить причину и следствие. При этом в эксперименте обязательно сравнивают поведение системы в обычных и специально изменённых условиях. Результаты и условия эксперимента строго фиксируют и описывают.

В естествознании между наблюдением и экспериментом в цепочке исследований лежит важное звено — **гипотеза** (от греч. *hypothesis* — основание, предположение). Перед тем как организовать эксперимент, продумать его условия, выдвигают предположение, которое нужно проверить (подтвердить или опровергнуть) экспериментально.

ИЗМЕРЕНИЕ. Естественно-научное экспериментальное исследование всегда опирается на точные **измерения**. Каждый из вас измерял длину линейкой в сантиметрах и миллиметрах, температуру с помощью градусника или термометра в градусах. Характеристики объектов, получаемые в результате измерений, называют *параметрами*. Для измерения параметров служат специальные приборы, например манометр для измерения давления, вольтметр для измерения напряжения в электрической цепи. Результаты измерений позволяют рассчитать параметры объектов или характеристики процессов. Например, объём куба можно рассчитать, измерив его ребро, а скорость равномерно движущегося автомобиля можно оценить, зная путь и время, за которое этот путь пройден.

При обработке результатов измерений всегда нужно оценивать:

- с какой точностью вы измеряете, какую ошибку даёт ваш прибор;
- как влияет сам процесс измерения на объект, который вы измеряете.

Можно ли измерить неизмеримое? Например, с помощью обыкновенной линейки определить размеры клетки растения или молекулы? Вы скажете: «Вряд ли». Тем не менее данные о параметрах этих объектов вы можете найти в справочниках. Как же они были измерены? Клетку, размеры которой составляют 10^{-6} м, можно рассмотреть и измерить с помощью оптического микроскопа, молекулы белков и ДНК размерами порядка 10^{-8} м — с помощью электронного микроскопа. Важно, чтобы длина волны излучения, которое используют в измерении, была сравнима с размерами исследуемого объекта или меньше их.

Результаты измерений всегда сопровождаются оценкой точности измерений и влиянием процесса измерения на объект исследования.

В новый портфель

??

Примеры научных экспериментов:

- эксперимент Резерфорда «Бомбардировка α -частицами тонкой золотой фольги с целью установления строения атома»;
- эксперименты Павлова по исследованию механизмов образования условных рефлексов.

Примером последовательности гипотез, ускоривших экспериментальное решение вопроса о строении атома, являются выдвинутые в начале XX в. модели атома:

- томсоновская («пирог с изюмом»);
- планетарная;
- атом Бора с переходами электронов с одного дискретного энергетического уровня на другой.

- ▷ Каковы особенности научного наблюдения?
- ▷ Чем эксперимент отличается от наблюдения?
- ▷ Что значит измерить величину?

6 УЧИМСЯ НАБЛЮДАТЬ

Урок-практикум

Возьмите бумагу и карандаш,
наблюдайте и описывайте свои наблюдения.

К. Поппер

?

Как правильно провести наблюдение? Как научиться выдвигать гипотезы?

Из старого портфеля

Сущность наблюдения и эксперимента как методов (см. § 5). Великие эксперименты в физике (Физика, 7—9 кл.). Роль эксперимента в биологии (Биология, 6—9 кл.). Химия — часть естествознания (Химия, 8, 9 кл.).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Научиться проводить наблюдения и выдвигать гипотезы.

ПЛАН РАБОТЫ

Последовательно выполнить задания.

1. Приведите примеры исследований в естествознании, которые сыграли принципиальную роль в развитии естественных наук. В каких случаях это были наблюдения, в каких эксперименты? Выделите черты эксперимента как метода исследования.
2. О значении наблюдаемых фактов для формулировки гипотезы ярко свидетельствует отрывок из повести французского философа-просветителя XVIII в. Вольтера «Задиг, или Судьба». Вспомните подобные примеры из своего жизненного опыта.

Пропал царский конь. Конюх спросил Задига, прогуливающегося возле рощи, не видел ли он коня.

«— Это конь, — отвечал Задиг, — у которого превосходнейший галоп; он пяти футов ростом, копыта у него очень маленькие, хвост трёх с половиной футов длины, бляхи на его удилах сделаны из золота в двадцать три карата, подковы из серебра...

— Куда он поскакал? По какой дороге? — спросил конюх.

— Я его не видел, — отвечал Задиг, — я даже никогда не слышал о нём».

Задига обвинили в краже лошади царя, и он ещё легко отделался, заплатив огромный штраф. Только после этого ему дали слово для оправдания. Он сказал: «Прогуливаясь по дорогам этой рощи, я заметил следы лошадиных подков, которые все были на равном расстоянии друг от друга. Вот, подумал я, лошадь, у которой превосходный галоп. Пыль с деревьев вдоль узкой дороги шириною не более семи футов была немного сбита справа и слева, в трёх с половиной футах от середины дороги. У этой лошади, подумал я, хвост трёх с половиною футов длиной: в своём движении направо и налево он смёл эту пыль. Я увидел под деревьями, образующими свод в пять футов высоты, листья, только что опавшие с ветвей, из чего я заключил, что лошадь была пяти футов ростом. Я исследовал камень кремневой породы,

о который она потёрлась удилами, и на этом основании определил, что бляхи на удилах были из золота в двадцать три карата достоинством. Наконец, по отпечаткам подков, оставленным на камнях другой породы, я пришёл к заключению, что её подковы из серебра...»

По-видимому, наблюдательный Задиг высказал верную гипотезу, так хорошо описав коня, которого он никогда не встречал. Ирония заключается в том, что за это он и поплатился.

3. Выберите условия проведения эксперимента.

В одном из международных сравнительных исследований качества обучения школьников естествознанию было следующее задание. Попробуйте выполнить его.

В эксперименте необходимо установить, как зависит скорость скатывания круглого тела с наклонной плоскости от его радиуса, и выбрать подходящий вариант опытов, которые однозначно позволяют это сделать (рис. 2).

Часто проведение научных наблюдений основывается на некоторой гипотезе — предположении о свойствах, структуре и связях изучаемых объектов.

Гипотеза всегда нуждается в проверке. Без этого мы не сможем узнать, является она истинной или ложной. Любая гипотеза направляет познание, стимулирует поиск фактов, постановку экспериментов, вносит свой вклад в поиск истины. Верная гипотеза существенно ускоряет процесс познания. Она опирается не только на наблюдения, но и на имеющиеся у нас знания.

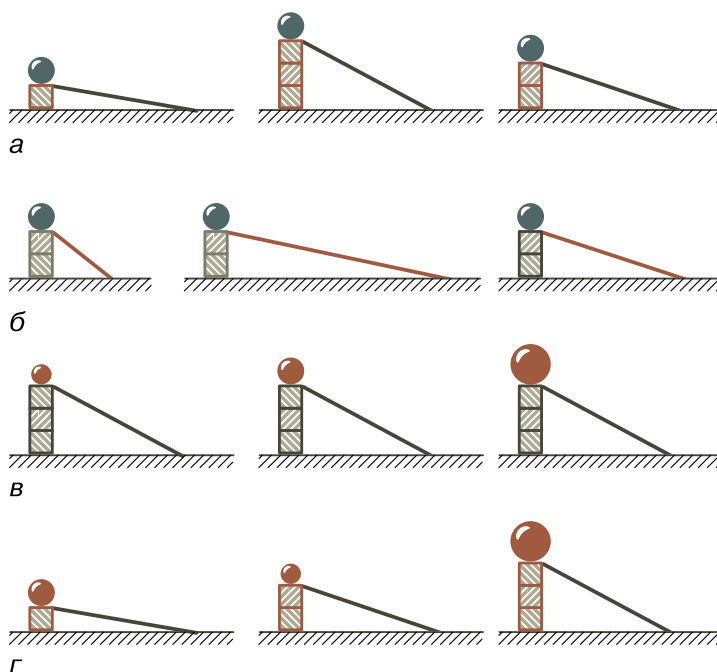


Рис. 2
Варианты опытов

Дополнительные источники информации

1. Капица П. Л. Эксперимент. Теория. Практика / П. Л. Капица. — М.: Наука, 1991.
2. Перельман М. Е. Наблюдения и озарения, или Как физики выявляют законы природы: от Аристотеля до Николы Теслы / М. Е. Перельман. — М.: Либроком, 2012.
3. Сухотин А. К. Превратности научных идей / А. К. Сухотин. — М.: Молодая гвардия, 1991.

Слова для поискового запроса: научный опыт, эксперимент и теория в науке, экспериментальные и теоретические методы, практические приложения экспериментальных методов.

ОБРАЗ ЖИЗНИ

Многие животные и растения предчувствуют изменения погоды. Систематические наблюдения за поведением животных и растений и связь этого поведения с изменением погоды могут позволить научиться предсказывать погоду. Если у вас есть такая возможность, попробуйте это сделать.

7 ЭКСПЕРИМЕНТАТОР, ПРИБОР, РЕЗУЛЬТАТ

Урок-лекция

Истина и справедливость — точки столь малые, что, метя в них нашими грубыми инструментами, мы почти всегда даём промах, а если и попадаем в точку, то размазываем её и при этом прикасаемся ко всему, чем она окружена, — к неправде куда чаще, чем к правде.

Б. Паскаль

?

Можно ли наблюдать за природой, не внося искажений в процессы, происходящие в ней? Вносим ли мы искажения в природные процессы при измерениях различных величин с помощью приборов? Существуют ли принципиальные ограничения на возможность производить измерения, оказывая пренебрежимо малое влияние на природные процессы?

Ключевые
слова

Классическая физика • Квантовая теория

Из старого
портфеля

Тепловое равновесие. Температура. Давление. Постоянный электрический ток. Сила тока. Напряжение. Квантовые явления (Физика, 7—9 кл.).

ВЛИЯНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАТОРА НА РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Исследуя различные процессы в природе, учёные стараются выделить объективные закономерности, т. е. такие характеристики, которые не зависят от человека, проводящего наблюдения или эксперименты. Насколько это возможно? Насколько наши наблюдения, наши измерения влияют на те природные явления, которые мы исследуем?

Наиболее наглядно это влияние проявляется в природе. Все живые организмы так или иначе реагируют на человека. Поэтому, например, при наблюдении за дикими животными биологам приходится быть крайне осторожными, чтобы своим присутствием не нарушить их обычное поведение.



На гравюре из книги Т. Галле «Новые открытия», изданной в XVII в., представлены наиболее важные, по мнению автора, научные и технологические достижения начала Нового времени. Какие именно мысли и творения человеческих рук изображены на этой гравюре? Чем бы вы дополнили этот перечень?

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

Ещё сложнее исследовать внутренние органы живых организмов. Любое вмешательство неизбежно изменяет их работу, фактически мы будем исследовать уже другие органы. Учёные, правда, могут заглядывать внутрь организма, используя рентгеноскопию и ультразвуковое зондирование. Но и при этом нужно быть очень осторожным, поскольку оба исследования в целом отрицательно влияют на организм.

Однако влияние экспериментатора сказывается и при проведении опытов без живых организмов. Оказывается, и здесь мы наблюдаем или измеряем уже не то, что было до нашего присутствия. Рассмотрим примеры такого влияния.

ВЛИЯНИЕ ПРИБОРОВ НА ОБЪЕКТЫ, ПАРАМЕТРЫ КОТОРЫХ МЫ ИЗМЕРЯЕМ. Первый пример связан с измерением температуры. При измерении медицинским термометром температуры человеческого тела влияние термометра на температуру тела пренебрежимо мало. Но можно ли тем же термометром измерить температуру воды в небольшой пробирке, даже если эта температура лежит в пределах, указанных на шкале термометра? Из курса физики вы знаете, что при тепловом контакте двух тел их температуры выравниваются. При этом более горячее тело отдаёт тепловую энергию более холодному. В результате температура горячего тела убывает, а температура холодного возрастает. Поскольку масса термометра и масса пробирки с водой имеют величину одного и того же порядка, изменение температуры термометра и изменение температуры воды оказываются сравнимыми. Таким образом, термометр измеряет не температуру воды, которая была до контакта с ним, а температуру воды, установившуюся после контакта, и эти температуры могут существенно различаться.

Второй пример касается измерения давления. Давление измеряют приборами — манометрами. Простейший манометр представляет собой коробочку, закрытую подвижной мембраной. Различное давление вызывает разный прогиб мембраны, который может быть измерен (рис. 3). Погружая такой манометр в воду, можно измерять давление на различных глубинах.

Предположим теперь, что нам с помощью такого манометра необходимо измерить давление воды в стакане на уровне его дна. Произведя необходимые действия, мы действительно измерим некоторое давление. Но будет ли это то самое давление, которое мы хотели измерить? Погружённый в жидкость манометр вытесняет воду, а следовательно, её уровень в стакане поднимается. Но давление определяется высотой столба жидкости, а значит, давление у дна стакана при таком измерении возрастает. Если объём манометра сравним с объёмом стакана, то мы измерим совсем не то, что хотели.

Обратимся теперь к процессу измерения размеров. Казалось бы, в этом случае мы никак не влияем на объект, размеры которого измеряем. Рассмотрим процесс измерения толщины проволоки микрометром (рис. 4). Процесс измерения очень прост. Закручивая микровинт, мы прижимаем губки микрометра к проволоке и

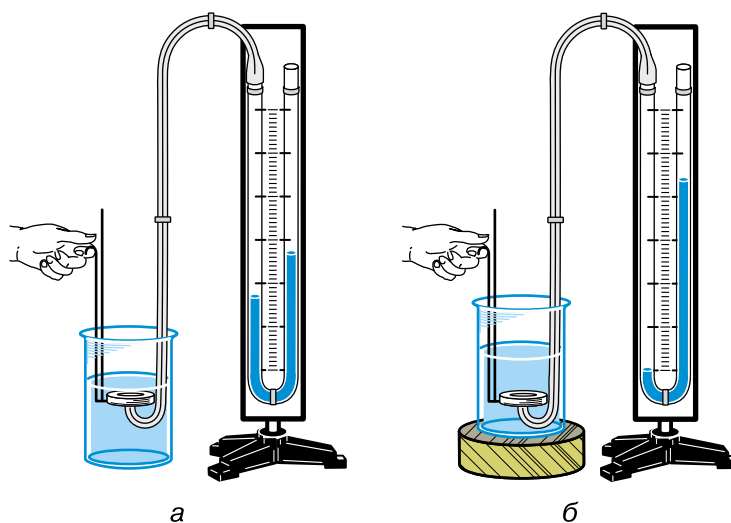


Рис. 3
Измерение давления манометром

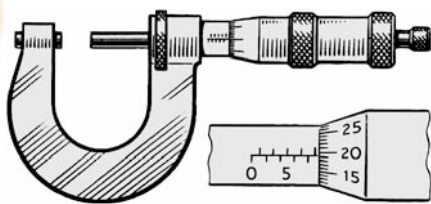


Рис. 4
Микрометр — прибор для точных измерений

измерениях необходимо учитывать искажения, вносимые приборами. Как сделать эти искажения ничтожно малыми? Проблема во всех приведённых примерах чисто техническая, а не физическая. Для решения измерительных задач следует использовать приборы, не вносящие заметных искажений. Такая ситуация характерна для **классической физики** — ньютоновской механики, термодинамики, электродинамики. Совершенно иная ситуация возникает в физике микромира, т. е. при измерениях в мире атомов, молекул и элементарных частиц.

В новый портфель

Производя измерения, мы неизбежно вносим искажения в объект, параметры которого измеряем. Величину таких искажений, а следовательно, и точность измерений необходимо оценивать всегда.

Вернёмся к примеру с измерением толщины стебелька одуванчика. Чтобы определить эту величину, вовсе не обязательно сжимать стебелёк. Достаточно сделать хорошую фотографию и провести измерение по этой фотографии. При таком подходе мы, казалось бы, совершенно не влияем на стебелёк. То же самое характерно для любых визуальных измерений. Во всех подобных экспериментах используют свет. Но свет, как вы знаете из курса физики, лишь частный случай электромагнитных волн. Человек научился применять для измерения расстояний и скоростей и другие типы электромагнитных волн, например радиоволны.

В настоящее время методы радиолокации — измерение расстояний и скоростей объектов при помощи радиоволн — широко используют для самых различных целей. Принцип метода очень прост. Радиопередатчик радиолокатора посылает радиоволну в направлении объекта, а радиоприёмник радиолокатора принимает волну, отражённую от объекта. Умножив время прохождения волны до объекта и обратно на скорость света, мы получим удвоенное расстояние от радиолокатора до объекта. Электронное устройство автоматически измеряет промежуток времени и делает расчёт расстояния. Произведя такие действия в два близких момента времени, можно определить скорость объекта по простой формуле $v = \Delta S / \Delta t$, где Δt — время между измерениями, а ΔS — величина, на которую изменилось расстояние до объекта за это время.

по шкале считываем её толщину. Но при этом мы неизбежно сдавливаем, а следовательно, деформируем проволоку, её толщина уменьшается. Правда, для проволоки сила деформации оказывается незначительной, и мы практически измеряем ту же толщину, что и в отсутствие микрометра. Но представьте себе, что таким же способом мы захотели бы измерить толщину стебелька одуванчика!

ОТ МАКРОМИРА К МИКРОМИРУ. Рассмотренные примеры показывают, что при любых

Влияют ли такие измерения на движение самого объекта? Известно, что электромагнитная волна переносит импульс. Из этого факта следует, что падающая на объект волна оказывает на него давление. Однако для макроскопических объектов такое давление оказывается пренебрежимо малым. Поэтому измерение координат и скоростей макроскопических объектов можно производить с достаточно высокой точностью, не влияя на их движение. Например, используя систему радиолокаторов, можно одновременно следить за движением многих автомобилей, участвующих в автогонках.

Иная ситуация возникает, если необходимо проследить движение микрочастиц, например движение электронов в атоме. Импульс микроскопического объекта существенно меньше, чем импульс автомобиля, поэтому влияние электромагнитной волны на него оказывается гораздо более значительным. Можно ли использовать в таком случае более слабую (менее интенсивную) волну? Оказывается, что здесь существенные

ограничения даёт **квантовая теория** — теория, изучающая процессы в микромире. Некоторые положения этой теории вы изучали в курсе физики.

Согласно квантовой теории электромагнитная волна есть совокупность фотонов. Если длина волны фотона много больше размеров атома, фотон «не замечает» атома, следовательно, не может дать нам информацию об атоме. В противном случае фотон разрушает (ионизирует) атом.

Из этой теории, в частности, следует, что бессмысленно говорить об орбите электрона в атоме. Это модельный образ. У нас просто нет средств, чтобы проследить за движением электрона по орбите.

Всё сказанное о движении электрона в атоме можно отнести и к движению частиц, входящих в состав живых организмов. Мы не можем выявить детали такого движения, не нарушая процессов, происходящих в организме. Это является одной из причин сложности исследования такого рода процессов.

ОБРАЗ ЖИЗНИ

Любой прибор, помимо выполнения функций, для которых он предназначен, неизбежно оказывает побочное влияние (часто вредное), например электрообогреватель с открытой спиралью. Обогревая комнату, он также насыщает её ионами тяжёлых металлов, вредных для здоровья.

Согласно квантовой теории электромагнитная волна представляет собой поток фотонов. Энергия фотона связана с частотой волны соотношением $E = h\nu$, а импульс — с длиной волны соотношением $p = h/\lambda$, где h — постоянная Планка. Из этого следует, что импульс волны (с заданной длиной) нельзя сделать сколь угодно малым, минимальный импульс волны — это импульс одного фотона.

Атом имеет размеры порядка 10^{-10} м, поэтому необходима волна с длиной меньше чем 10^{-11} м. Учитывая, что постоянная Планка в системе СИ имеет величину порядка 10^{-33} , получим, что соответствующий фотон имеет импульс порядка 10^{-22} кг · м/с. (Для сравнения: автомобиль массой 500 кг, движущийся со скоростью 72 км/ч, имеет импульс 10^4 кг · м/с.) Электрон в атоме, обладая малой массой, имеет импульс, как раз равный по величине 10^{-22} кг · м/с. Таким образом, воздействие одного фотона с данной длиной волны на электрон было бы столь же катастрофическим, как столкновение автомобилей, движущихся навстречу друг другу. Подобный радиолокатор просто вырвал бы электрон из атома.

Движение микрочастиц (атомов, молекул, электронов) таково, что при измерении каких-либо параметров этого движения возникает значительное влияние на характер самого движения, и это влияние принципиально не может быть малым.

В новый портфель

??

- Почему сложно проводить наблюдения за живыми организмами в природе?
- В древние времена моряки измеряли скорость судна, бросая в воду лот, привязанный к верёвке с узлами, расположенными на одинаковом расстоянии друг от друга. При движении судна верёвка разматывалась, и по количеству узлов, проходящих в заданное время, вычислялась скорость судна. Вносит ли такой прибор искажения в движение судна? Если да, то чем обусловлены эти искажения? Насколько они значительны? Чем определяется погрешность такого способа измерения скорости?
- Как вы думаете, могут ли повлиять на результаты эксперимента и их интерпретацию личностные характеристики учёного-исследователя (психологические, эмоциональные и др.)?

8 ВЕЛИКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУКАХ

Урок-конференция

Тебе бы опыт сделать не мешало,
ведь он для нас источник всех наук.

А. Данте

?

Содержит ли каждая клетка организма информацию об организме в целом? Зависит ли скорость света от скорости источника, излучающего свет, и от скорости приёмника, регистрирующего свет? Как распределены положительный и отрицательный заряды в атоме?

ЦЕЛЬ КОНФЕРЕНЦИИ. Познакомиться с тем, как совершаются открытия, подсказанные экспериментом.

ПЛАН КОНФЕРЕНЦИИ

1. Эксперимент Шпемана.
2. Опыт Майкельсона—Морли.
3. Опыт Резерфорда.

СООБЩЕНИЕ 1

Эксперимент Шпемана — путь к клонированию.

Развитие любого организма начинается с одной клетки. В самом простом случае, когда организм состоит всего из одной клетки (одноклеточные протисты), она делится на две и более одинаковые клетки. При развитии многоклеточного организма клетки по мере увеличения их числа в зародыше постепенно начинают отличаться друг от друга. Процесс превращения первоначально однотипных клеток в специализированные клетки органов и тканей получил название *дифференцировка клеток*.

А вот долго ли сохраняется в ядре клетки информация о целом организме? Это свойство ядра только яйцеклетки? Или же ядра дифференцированных клеток (например, кишечного эпителия либо кожи) также несут эту информацию в полном объёме? Ответы на эти вопросы

могли дать только эксперименты. Первым подошёл к решению этой задачи немецкий учёный Ханс Шпеман. Проведённый им эксперимент показал, что на начальной стадии деления яйцеклетки, по крайней мере до стадии 16-клеточного зародыша, каждая клетка зародыша несёт всю информацию, заключённую в исходной яйцеклетке. Дальнейшие опыты учёных Т. Кинга, Р. Бригса, Дж. Гёрдона доказали, что ядра дифференцированных клеток способны сохранять в полном объёме ту информацию, которая содержится в яйцеклетке, т. е. информацию об организме в целом.

Таким образом, ещё в 50—60-е гг. XX в. стало понятно, что имеется принципиальная возможность клонирования организмов. Для этого из яйцеклетки одной животной особи удаляют её родное ядро, а затем пересаживают в неё ядро клетки любой ткани взрослого орга-



Какое изобретение показывает А. Вольта Наполеону? Как оно повлияло на развитие естествознания и техники?

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

низма другой особи того же вида. В настоящее время учёные вплотную подходят к разработке приёмов клонирования таких сложных биологических систем, как млекопитающие.

Источники информации

1. Тейлор Д. Биология. В 3 т. / Д. Тейлор, Н. Грин, У. Стаут. — М.: Бинном. Лаборатория знаний, 2015.
2. Голикова Е. Н. Социально-психологические проблемы генной инженерии / Е. Н. Голикова // Личность в меняющемся мире: здоровье, адаптация, развитие: сетевой журн. — 2015. — № 3 (10). — <http://gotourl.ru/14507>.

Слова для поискового запроса: эксперимент Шпемана, эмбриология, клонирование, дифференцировка клеток.

СООБЩЕНИЕ 2

Опыт Майкельсона—Морли: попытка экспериментального определения скорости движения Земли относительно эфира.

К концу XIX в. возникла гипотеза распространения света в некоторой субстанции, которую называли *эфиром*, подобно тому как звук распространяется в воздухе или другой среде. Предполагалось, что скорость света относительно эфира всегда постоянна. Относительно наблюдателя, движущегося сквозь эфир, скорость света должна изменяться. Эта гипотеза требовала экспериментального подтверждения.

Идею эксперимента выдвинул в 1875 г. учёный Джеймс Максвелл. Уникальный эксперимент, позволяющий проводить измерения с такой точностью, был осуществлён в 1887 г. учёными Альбертом Майкельсоном и Эдвардом Морли. Он основывался на явлении интерференции волн. Эксперимент дал результат очень высокой точности. Он оказался уникальным ещё и потому, что, несмотря на отрицательный результат (изменение скорости света не было зафиксировано), стал ключом к пониманию свойств пространства и времени и послужил экспериментальной основой для построения теории относительности.

Источники информации

1. Башлачёв Ю. А. Фундаментальные эксперименты физики: курс лекций / Ю. А. Башлачёв, Д. Л. Богданов. — М.: Ленанд, 2012.
2. Гарднер М. Теория относительности для миллионов / М. Гарднер. — М.: URSS, 2010.

Слова для поискового запроса: опыт Майкельсона—Морли, опыты по теории относительности.

СООБЩЕНИЕ 3

Опыт Резерфорда: определение структуры атома.

Опыт заключался в бомбардировке атома α -лучами (ядрами атома гелия). По отклонению α -лучей при прохождении золотой фольги Эрнест Резерфорд сделал вывод о том, что при размерах атома порядка 10^{-10} м весь его положительный заряд сосредоточен в области гораздо меньших размеров — 10^{-15} м.

Источники информации

1. Башлачёв Ю. А. Фундаментальные эксперименты физики: курс лекций / Ю. А. Башлачёв, Д. Л. Богданов. — М.: Ленанд, 2012.
2. Кабардин О. Ф. Физика: справочные материалы: пособие для учащихся / О. Ф. Кабардин. — М.: Просвещение, 1991.

Слова для поискового запроса: опыт Резерфорда, строение атома.

Открытия в естествознании часто совершались под влиянием результатов опытов, поставленных талантливыми экспериментаторами. Великие эксперименты в биологии, химии, физике способствовали изменению представлений о мире, в котором мы живём, о строении вещества, о механизмах передачи наследственности. На основании результатов этих экспериментов совершались другие теоретические и технологические открытия.

В новый
портфель

9 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Урок-лекция

На свете есть вещи поважнее самых прекрасных открытий — это знание методов, которыми они были сделаны.

Г. Лейбниц



Что такое метод? Чем различаются анализ и синтез, индукция и дедукция?

Ключевые
слова

Метод • **Эмпирический метод** • **Теоретический метод** •
Классификация • **Систематизация** • **Систематика** • **Индукция** •
Дедукция

Из старого
портфеля

Наблюдение и описание физических явлений. Физические законы (Физика, 7—9 кл.).

ЧТО ТАКОЕ МЕТОД. Методом в науке называют способ построения знания, форму практического и теоретического освоения действительности. Фрэнсис Бэкон сравнивал метод с дорогой: «Даже хромой, идущий по дороге, опережает того, кто идёт без дороги». Правильно выбранный метод должен быть ясным, логичным, вести к определённой цели, давать результат. Учение о системе методов называют *методологией*.

Методы познания, которые используют в научной деятельности, — это **эмпирические** (практические, экспериментальные): *наблюдение, эксперимент* — и **теоретические** (логические, рациональные): *анализ, синтез, сравнение, классификация, систематизация, абстрагирование, обобщение, моделирование, индукция, дедукция*. В реальном научном познании эти методы используют всегда в единстве. Например, при разработке эксперимента требуется предварительное теоретическое осмысление проблемы, формулирование гипотезы, а после проведения эксперимента необходима обработка результатов исследования с использованием математических методов. Рассмотрим особенности некоторых теоретических методов познания.

КЛАССИФИКАЦИЯ И СИСТЕМАТИЗАЦИЯ. Классификация позволяет упорядочить исследуемый материал, группируя множество (класс) исследуемых объектов на подмножества (подклассы) в соответствии с выбранным признаком.

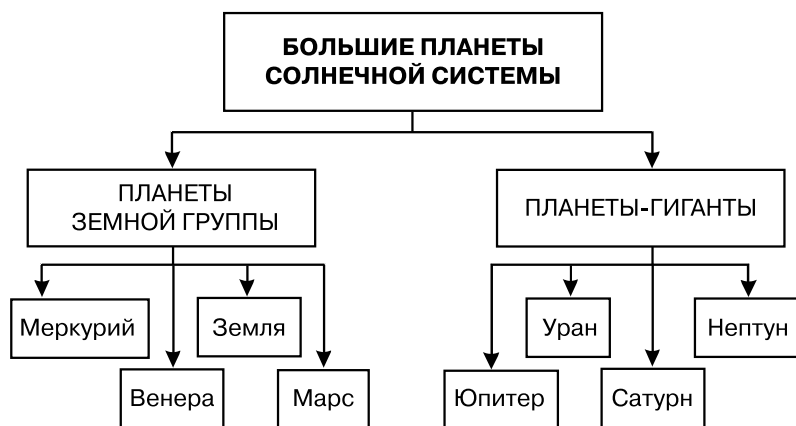
Например, всех учеников старших классов школы можно разделить на подклассы «девушки» и «юноши». Можно выбрать и другой признак, например рост. В этом случае классификацию возможно проводить по-разному: выделить границу роста 160 см и классифицировать учеников на подклассы «низкие» и «высокие» или разбить шкалу роста на отрезки по 10 см, тогда классификация будет более детальной. Если сравнить результаты такой классификации по нескольким годам, это позволит эмпирическим путём установить тенденции в физическом развитии учеников.

Классификация как метод может быть использована для получения новых знаний и даже служить основой для построения новых научных теорий. В науке обычно используют классификации одних и тех же объектов по разным признакам в зависимости от целей. Однако признак (основание для классификации) выбирается всегда один. Так, химики подразделяют класс «кислоты» на подклассы и по степени диссоциации (сильные и слабые), и по наличию кислорода (кислородсодержащие

и бескислородные), и по физическим свойствам (летучие и нелетучие, растворимые и нерастворимые), и по другим признакам.

Классификация может изменяться в процессе развития науки. В середине XX в. исследование различных ядерных реакций привело к открытию элементарных (неделящихся) частиц. Первоначально эти частицы стали классифицировать по массе; так появились лептоны (мелкие), мезоны (промежуточные), барионы (крупные) и гипероны (сверхкрупные). Дальнейшее развитие физики показало, что классификация по массе имеет мало физического смысла, однако термины сохранились, в результате чего появились лептоны, значительно более массивные, чем барионы.

Классификацию удобно отражать в виде таблиц или схем (графов). Например, классификация планет Солнечной системы, представленная граф-схемой, может выглядеть так:



При изучении сложных систем природы классификация служит фактически первым шагом к построению естественно-научной теории.

Следующим, более высоким уровнем является **систематизация**. Систематизация осуществляется на основе классификации достаточно большого объёма материала. При этом выделяют наиболее существенные признаки, позволяющие представить накопленный материал как систему, в которой отражены все различные взаимосвязи объектов. Систематизация необходима в тех случаях, когда имеется многообразие объектов и сами объекты являются сложными системами. Результатом систематизации научных данных является **систематика**, или, иначе, таксономия. Систематика как область науки развивалась в таких областях знания, как биология, геология, языкознание, этнография.

Единицу систематики называют *таксоном*. В биологии таксоны — это, например, тип, класс, семейство, род, отряд и др. Они объединены в единую систему таксонов различного ранга по иерархическому принципу. Такая система включает описание всех существующих и вымерших организмов, выясняет пути их эволюции. Если учёные находят новый вид, то они должны определить его место в общей системе. Могут быть внесены изменения и в саму систему, которая по-прежнему остаётся развивающейся, динамичной. Систематика позволяет легко ориентироваться во всём многообразии организмов: только животных известно более 1,5 млн видов, а растений — свыше 500 тыс. видов, не считая другие группы организмов. Современная биологическая систематика отражает закон Сент-Илера: «Всё многообразие форм жизни формирует естественную таксономическую систему, состоящую из иерархических групп таксонов различного ранга».



Портрет Ф. Бэкона и памятник Ш. Холмсу

Почему портрет учёного и статуя литературного героя расположены рядом?

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

ИНДУКЦИЯ И ДЕДУКЦИЯ. Путь познания, при котором на основе систематизации накопленной информации — от частного к общему — делают вывод о существующей закономерности, называют **индукцией**. Этот метод как метод изучения природы был разработан английским философом Фрэнсисом Бэконом. Он писал: «Надо брать как можно больше случаев — как таких, где исследуемое явление есть налицо, так и таких, где оно отсутствует, но где его можно было бы ожидать встретить; затем надо расположить их методически... и дать наиболее вероятное объяснение; наконец, постараться проверить это объяснение дальнейшим сравнением с фактами».

Индукция не единственный путь получения научного знания о мире. Если экспериментальная физика, химия и биология строились как науки в основном за счёт индукции, то теоретическая физика, современная математика в своей основе имели систему **аксиом** — непротиворечивых, умозрительных, достоверных с точки зрения здравого смысла и уровня исторического развития науки утверждений. Тогда знание можно построить на этих аксиомах путём выведения умозаключений от общего к частному, перехода от предпосылки к следствиям. Этот метод называют **дедукцией**. Его развивал Рене Декарт — французский философ и учёный.

Ярким примером получения знания об одном предмете разными путями является открытие законов движения небесных тел. Иоганн Кеплер на основе большого количества данных наблюдений за движением планеты Марс в начале XVII в. открыл с помощью метода индукции эмпирические законы движения планет в Солнечной системе. В конце этого же века Исаак Ньютон вывел дедуктивным путём обобщённые законы движения небесных тел на основе закона всемирного тяготения.

В НОВЫЙ портфель

В научной деятельности используют эмпирические и теоретические методы познания мира. В реальной исследовательской деятельности эти методы всегда взаимосвязаны.



- Пользуясь справочной литературой, найдите и выпишите определения следующих теоретических методов исследования: анализ, синтез, сравнение, абстрагирование, обобщение.
- Проведите классификацию и составьте схему известных вам эмпирических и теоретических методов научного познания.
- Согласны ли вы с точкой зрения французского писателя Вовенарга: «Ум не заменяет знания»? Ответ обоснуйте.
- Карл Линней в XVIII в. ввёл бинарную номенклатуру, согласно которой видовое название любого живого организма составляется из названия рода и собственно вида (например, человек разумный). Почему возникла необходимость «усложнять» единицы классификации живого?
- В тексте параграфа приведён пример классификации кислот. Какие ещё классы неорганических веществ вам известны? Что является основанием для их классификации? Как можно классифицировать простые вещества? Приведите примеры.

10 УЧИМСЯ КЛАССИФИЦИРОВАТЬ И СИСТЕМАТИЗИРОВАТЬ

27

Урок-практикум

Положения, полученные из чисто логических средств, при сравнении с действительностью оказываются совершенно пустыми.

А. Эйнштейн

?

Как правильно провести анализ и классификацию данных? Зачем нужны графики и диаграммы?

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Научиться проводить классификацию и анализировать данные, полученные из текста.

ПЛАН РАБОТЫ

1. Проанализировать текст с целью определения существенных свойств предмета, о котором говорится.
2. Структурировать содержание текста с целью выделения классов объектов, о которых говорится.
3. Понять роль логических схем, графиков, диаграмм для осмысления изучаемого материала, установления логических связей, систематизации.

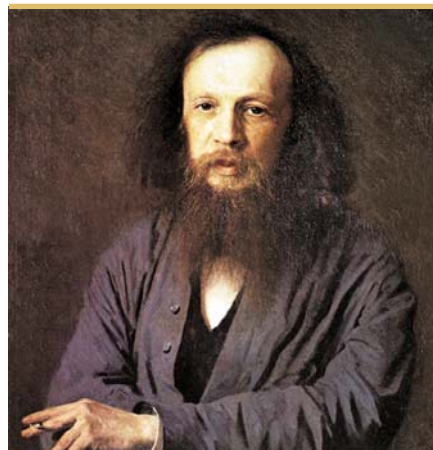
1. Проанализируйте текст. Для этого вам нужно мысленно определить в тексте предмет — существенное. Выделить, разделить его на составные части, чтобы найти отдельные элементы, признаки, стороны этого предмета.

ПОРТРЕТ ШАРОВОЙ МОЛНИИ. «Портрет загадочного феномена природы — шаровой молнии выполнили специалисты главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова, воспользовавшись услугами ЭВМ и... методами криминалистики. «Фоторобот» таинственной незнакомки был составлен на основе данных, опубликованных в печати за три столетия, итогов исследовательских опросов и сообщений очевидцев разных стран.

Какие же из своих секретов сообщил учёным парящий сгусток энергии?

Замечают его большей частью во время гроз. Во все времена встречались четыре формы шаровой молнии: сфера, овал, диск, стержень. Порождение атмосферного электричества, естественно, большей частью возникало в воздухе. Однако, по данным американских опросов, шаровую молнию можно увидеть и осевшей на различных предметах — телеграфных столбах, деревьях, домах. Размеры удивительной спутницы гроз от 15 до 40 см. Цвет? Три четверти очевидцев следили за сверкающими шарами красного, жёлтого и розового цвета.

Жизнь сгустка электрической плазмы поистине мотыльковая, как правило, в пределах 5 с. Дольше этого срока, но не более 30 с её видели до 36 % очевидцев.



Иван Крамской. Д. И. Менделеев

Портретами каких учёных-систематизаторов вы бы дополнили этот ряд?

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

Почти всегда и кончина её была одинаковой — она самопроизвольно взрывалась, иногда натываясь на различные препятствия. «Коллективные портреты», сделанные наблюдателями разных времён и народов, совпали».

Если вы, прочитав текст, сумели ответить на вопросы: о чём говорится в тексте, каковы основные признаки, элементы, стороны, свойства предмета рассуждений, значит, вы провели его анализ. В данном случае предметом, основой содержания текста является представление о шаровой молнии: свойства шаровой молнии, её внешний вид — размер, форма, цвет, а также время жизни, особенности поведения.

2. На основе анализа текста (см. задание 1) определите его логическую структуру. Предложите формы работы с этим текстом для его усвоения, запоминания, использования его как интересного, необычного материала в вашей дальнейшей учебной работе — в дискуссиях, выступлениях.

ПОДСКАЗКА

Можно составить *план* этого текста, его *конспект*, *тезисы* (обобщения и выводы, которые вы считаете главными в тексте). Полезно выделить то, что является для вас новым, незнакомым в материале. Можно также составить *логическую* схему материала. Для этого, проанализировав текст, выделите значимую для вас информацию, попытайтесь объединить её в группы, показать связи между этими группами.

3. Использование таблиц, графиков, диаграмм помогает проводить систематизацию при изучении естественно-научных предметов. Пусть в нашем распоряжении имеются данные о среднемесячных дневных температурах за один год для Санкт-Петербурга и Сочи. Требуется с целью выявления каких-либо закономерностей проанализировать и систематизировать этот материал.

Представим набор данных в виде таблицы, графика и диаграммы (рис. 5, 6). Найдите закономерности в распределении температур. Ответьте на вопросы.

1. Каковы особенности распределения температур по месяцам в разных городах? В чём различие этого распределения?
2. В чём причина процессов, которые приводят к такому распределению?
3. Помогла ли вам выполнить задание систематизация материала с помощью графика, диаграммы?

Среднемесячные дневные температуры за один год
для Санкт-Петербурга и Сочи (°C)

Город \ Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Санкт-Петербург	-15	-17	-5	+5	+17	+20	+21	+15	+10	+5	+2	-8
Сочи	-2	-4	+9	+18	+22	+25	+25	+25	+20	+15	+10	0

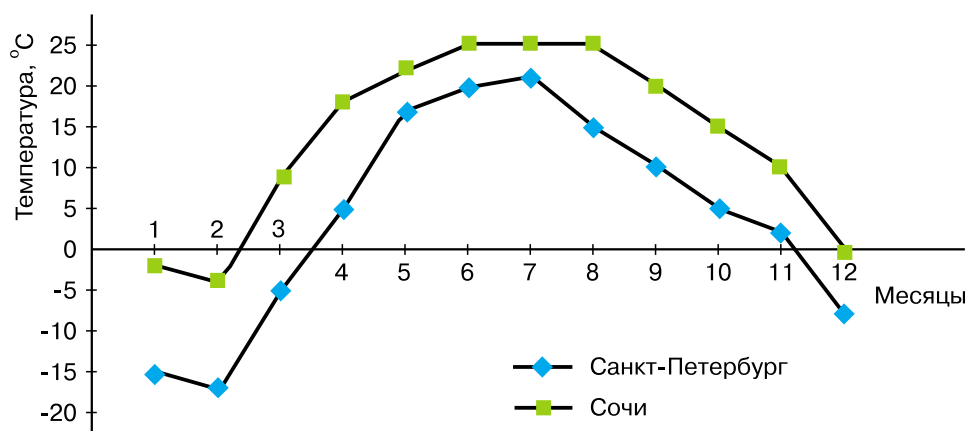
**Рис. 5**

График хода среднемесячных дневных температур за один год для городов Санкт-Петербурга и Сочи

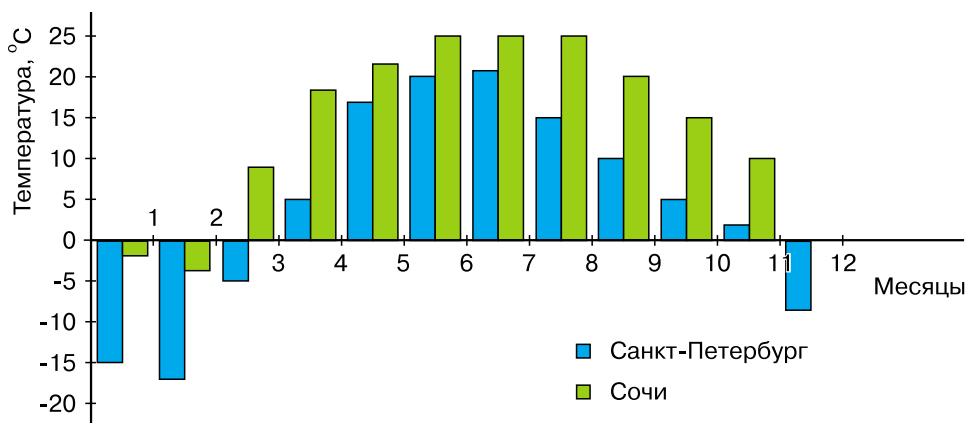
**Рис. 6**

Диаграмма: среднемесячные дневные температуры за один год в городах Санкт-Петербурге и Сочи

Дополнительные источники информации

1. Мигдал А. Б. От догадки до истины / А. Б. Мигдал. — М.: Просвещение, 2008.
2. Фейерабенд П. Избранные труды по методологии науки / П. Фейерабенд. — М.: Прогресс, 1986.
3. Эйнштейн без формул / сост. К. Кедров; пер. с англ. — М.: Мысль, 2005.

Слова для поискового запроса: методология науки, теоретические методы исследования.

Важными ступенями к овладению методами научного познания являются:

- логический анализ текста;
- составление плана, схем, выделение структуры материала;
- конспектирование текста или написание тезисов;
- выделение нового знания и его использование в дискуссиях, выступлениях, при решении новых задач, проблем.

**В новый
портфель**

Есть шестьдесят девять способов сочинять песни племён, и каждый из них правильный.

Р. Киплинг

?

Что такое моделирование? Что понимают под теоретическим моделированием? Как соотносятся между собой теоретические модели и естественно-научные законы?

Ключевые
слова

Моделирование • Материальная модель • Теоретическая модель • Математическая модель

Из старого
портфеля

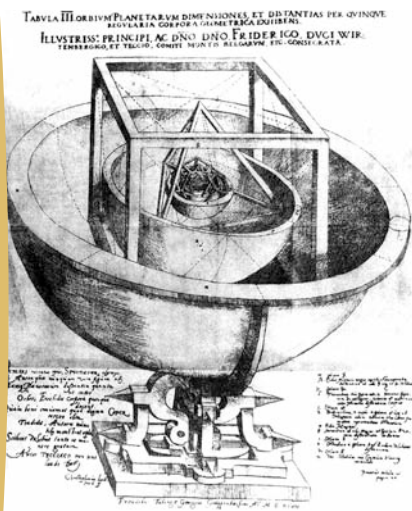
Механические явления. Законы Ньютона. Закон всемирного тяготения (Физика, 8—9 кл.).

ЧТО ТАКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В НАУКЕ И ЗАЧЕМ ОНО НЕОБХОДИМО. Одним из теоретических методов исследования природы является **моделирование**. Слово «модель» иностранного происхождения и имеет

много различных значений. Наиболее распространено представление о моделях технических устройств, агрегатов, механизмов (например, модель самолёта или модель автомобиля). Сейчас слово «модель» широко употребляют ещё в одном значении — как образец (например, топ-модель). Понятие «моделирование» также получило более широкое толкование — искусство создания чего-либо (например, моделирование одежды, моделирование отношений между людьми). Что же такое моделирование в науке?

Под моделью в науке понимают как некоторую материальную конструкцию (**материальная модель**), так и теоретическое (словесное и математическое) описание какого-либо процесса или явления (**теоретическая модель**). Во всех случаях модель должна быть похожа на естественный объект, процесс или явление. Это означает, что модель должна обладать основными свойствами, характерными качественными особенностями того, что моделируется.

Приведём конкретный пример. В 70-е гг. XX в. возникла идея построения сооружений, защищающих Ленинград (Санкт-Петербург) от наводнений. Комплекс сооружений (дамба) должен был перекрывать путь воде, идущей из Финского залива во время наводнения, и в то же время не препятствовать прохождению судов в город. Возник вопрос об экологичности проекта. Построенное сооружение должно было повлиять на естественное течение воды в Финском заливе: в ней могли образоваться застойные зоны — искусственные болота, аккумулирующие грязь, идущую с водами Невы. Была построе-



Модель Солнечной системы из книги Иоганна Кеплера «Космографическая тайна».

Планетарные орбиты представлены вложенными друг в друга правильными многогранниками (куб, тетраэдр, пирамида и т. д.)

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

на материальная модель части акватории Финского залива. Занимая значительную площадь, эта модель была точной уменьшенной копией акватории и позволяла исследовать характер течений, который имел бы место при строительстве дамбы. При этом строительство модели было несоизмеримо дешевле строительства (и тем более перестройки) реального объекта.

Моделирование позволяет исследовать сложные процессы и явления с целью предсказания интересующих исследователя результатов. Это касается как материальных, так и теоретических моделей.

**В новый
портфель**

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ЗАКОНЫ ПРИРОДЫ. Понятие материальной модели не вызывает вопросов — модель автомобиля действительно отражает конструкцию автомобиля, но почему любое теоретическое описание мы также называем моделью? Разве это описание не основано на законах природы, которые вы изучали на уроках физики, химии, биологии, на законах, которым подчиняются все объекты природы?

В конце XVI в. астроном Иоганн Кеплер сформулировал законы, описывающие движение планет Солнечной системы. Эти законы были установлены эмпирически, т. е. на основе наблюдения за движением планет.

Недостатком эмпирических законов является то, что они не объясняют причину явления, а только констатируют факт. Объяснение кеплеровским законам было дано Исааком Ньютоном на основе законов динамики и закона всемирного тяготения. Однако, чтобы получить из законов Ньютона кеплеровские законы, необходимо выделить наиболее существенные особенности движения планет и отбросить второстепенные.

Подобное моделирование часто используют в науке: на основе известных законов путём некоторых обоснованных допущений и приближений формулируется достаточно просто решаемая задача. При необходимости можно попробовать уточнить модель, учитывая те факторы, которыми вначале пренебрегали.

Развитие науки показывает, что каждый естественно-научный закон имеет границы своего применения. Например, законы Ньютона оказываются неприменимы при исследовании процессов микромира. Для описания этих процессов сформулированы законы квантовой теории. С точки зрения моделирования это означает, что законы Ньютона являются некоторой моделью, которая следует при определённых приближениях из более общей теории. Однако и законы квантовой теории не абсолютны и имеют свои ограничения в применимости. Уже сформулированы более общие законы и получены более общие уравнения, которые, в свою очередь, также имеют ограничения. И цепочке этой не

Фактически, решая любую школьную задачу о реальном, а не об идеализированном процессе, вы занимаетесь моделированием. При этом для моделирования реальных явлений и процессов вы используете такие идеализированные понятия, как материальная точка, математический маятник, абсолютно твёрдое тело, идеальный газ.

Приведём пример такой задачи. Требуется найти минимальный тормозной путь автомобиля, движущегося со скоростью $v = 72$ км/ч, если коэффициент трения между дорогой и шинами колёс $\mu = 0,3$. Ваших знаний физики достаточно для решения этой задачи; мы приведём лишь ответ: $S = v^2 / (2\mu g) \approx 70$ м. Решая эту задачу, вы неизбежно делаете следующие приближения:

- считаете, что до торможения автомобиль двигался по прямой, по ровной горизонтальной поверхности, что максимальная сила между колесом и дорогой — это сила трения скольжения;
 - предполагаете, что тормоза автомобиля на всех колёсах работают одинаково, что сила давления автомобиля на каждое колесо одна и та же;
 - пренебрегаете силой воздействия воздуха на автомобиль при движении, инерцией вращения колёс автомобиля (кинетической энергией вращательного движения колёс).
- Все эти приближения следует обосновывать и численно оценивать их погрешности.

видно конца. Пока ещё не получены какие-либо абсолютные законы, описывающие всё в природе, из которых можно было бы вывести все частные законы. И неясно, можно ли такие законы сформулировать. Но это означает, что любой из естественно-научных законов фактически является некоторой моделью.

В новый портфель

Все естественно-научные законы выведены для моделей, но применимы для описания многих явлений и процессов, происходящих в природе. Каждый естественно-научный закон имеет границы своего применения. Существует определённая иерархия законов: одни законы являются частными случаями других, т. е. могут быть выведены из них при определённых приближениях и допущениях.

Методы моделирования, развитые и отработанные в естественных науках, оказываются полезными и в гуманитарных науках. Например, процессы самоорганизации в природе, с которыми вы познакомитесь в главе 5, позволяют понять процессы, происходящие в обществе.

Что такое математическое моделирование? Под **математической моделью** понимают систему уравнений, описывающих исследуемые процессы или явления. Фактически любая модель в физике является математической, поэтому понятие «математическая модель» в физике, как правило, не употребляют.

В других науках существуют *качественные теоретические модели*, не содержащие математических уравнений. Примером служит теория Чарлза Дарвина в биологии, которая является качественной теоретической моделью сложного процесса эволюции живой природы.

С развитием компьютерной техники появился термин *компьютерное моделирование*. Это тоже математическое моделирование, дополненное мощными вычислительными средствами, а также возможностью визуализации и интерактивного управления процессами. Примерами такого моделирования являются компьютерные игры, различные эффекты в фантастических фильмах. Подобное моделирование применяют и для исследования различных природных процессов.

Но одних лишь знаний и умений недостаточно для успешного построения моделей ещё не исследованных явлений. Фактически при таком моделировании происходит создание новой теории рассматриваемого явления, что является творческим процессом. Как и в любом творческом процессе, при этом необходимо нечто выходящее за рамки науки — интуиция, вдохновение, чувство красоты теории. В этом смысле процесс моделирования в науке схож с другими творческими процессами, например с деятельностью художника, композитора, писателя.

В новый портфель

Моделирование ещё не исследованных явлений является творческим процессом, требующим как научной подготовки, так и присущих любому творческому процессу качеств, таких, как интуиция, вдохновение, чувство красоты теории.



- Пользуясь справочной литературой, найдите и выпишите разные варианты трактовки понятий «модель» и «моделирование».
- ▷ Приведите пример задачи, которую вы решали на уроках физики с применением моделирования (делали приближения в процессе решения задачи).
- Приведите примеры теоретических моделей, применяемых в физике, химии, биологии.

12 ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ И РЕЛИГИОЗНАЯ ТРАДИЦИЯ

33

Урок-лекция

Наука без религии неполноценна,
а религия без науки слепа.

А. Эйнштейн

?

Какова роль христианской традиции в формировании науки в Европе в начале Нового времени? Отношение к познанию природы в восточно- и западнохристианской традициях. Почему необходим диалог между наукой и религией?

Техногенная цивилизация

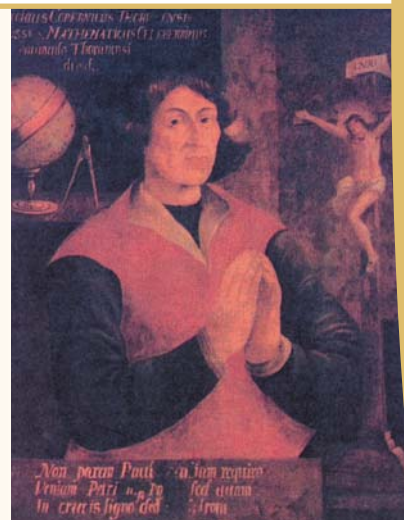
Ключевые
слова

РАЗВИТИЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И КУЛЬТУРНЫЕ ТРАДИЦИИ. Естествознание развивалось в различных культурах и цивилизациях. Огромный вклад в познание природы внесли философы и учёные Китая, Индии, исламского мира. Именно благодаря арабским (или арабоязычным) мыслителям европейцы познакомились с достижениями античной мысли, которые в самой Европе были утрачены в период раннего Средневековья. Труды аль-Хорезми, ар-Рази, аль-Фараби, ибн-Рушда (Аверроэса) и многих других не только способствовали сохранению и распространению античного наследия (идей Аристотеля, Платона, Евклида и др.), но и обогатили науку многими новыми знаниями. Однако наибольшее значение для формирования современного естествознания в начале Нового времени имели всё же достижения европейских учёных — Коперника, Кеплера, Галилея, Гарвея, Везалия, Декарта, Гюйгенса, Ньютона и др. Именно в Западной Европе XVI—XVII вв. произошла научная революция, в ходе которой были заложены основы классического естествознания.

Почему же наука не сыграла в исламском мире той роли, которую она сыграла в Западной Европе? Причин тому множество. Знание в мусульманском мире имело высокий статус. Коран и Предание сохранили слова пророка Мухаммеда о том, что «чернила учёного так же драгоценны, как и кровь мученика, павшего за веру». Однако не менее сильным было и противодействие занятиям наукой. Если науки, утверждали противники просвещения, говорят о том, что уже есть в Коране и Предании, то они излишни, а если они говорят о том, чего там нет, то они вредны. Разуме-

Почему Коперник на этом портрете (который, по мнению некоторых историков науки, является копией с несохранившегося автопортрета) изображён перед распятием?

Неизвестный художник.
Николай Коперник



МЫСЛЬ И ОБРАЗ

ется, учёный мог иметь весьма высокий статус, но получал он его, как правило, за свои конкретные полезные достижения, скажем, в качестве астронома, врача или юриста. Кроме того, для исламского мира Средневековья характерно стремление к закрытости знания. Знание должно быть достоянием немногих. Отсюда, кстати, сильное противодействие распространению книгопечатания в исламских странах, продолжавшееся до начала XIX в.

ХРИСТИАНСКАЯ КУЛЬТУРНАЯ ТРАДИЦИЯ. В эпоху научной революции в Западной Европе сложилась уникальная цивилизация, которую иногда называют **техногенной**. Действительно, в развитии этой цивилизации важную роль играл и играет прогресс в науке, технике и технологии. Этой цивилизации присуща определённая система ценностей. Например:

- человек не пассивный созерцатель происходящего вокруг него, он активно изучает и преобразует мир;
- природа — это множество объектов и явлений, подчиняющихся определённым законам, и задача человека — открыть эти законы, чтобы полнее использовать природу в своих целях;
- объекты природного мира (вода, минералы, растения, животные и т. д.) служат материалами и ресурсами преобразующей деятельности человека;
- особую ценность имеет новизна (новые теории, идеи, материалы, приборы и т. д.), ибо это ведёт к прогрессу.

Некоторые важнейшие события в истории науки начала Нового времени:

- 1543 г. — выход книги Н. Коперника с изложением его гелиоцентрической теории;
- 1609 г. — И. Кеплер опубликовал трактат «Новая астрономия», в котором изложил законы движения планет;
- 1609—1610 гг. — астрономические открытия Г. Галилея с помощью телескопа;
- 1628 г. — У. Гарвей изложил своё учение о кровообращении;
- 1633 г. — процесс над Г. Галилеем;
- 1660 г. — создание Лондонского королевского общества;
- 1661 г. — издание книги Р. Бойля «Химик-скептик» (сначала анонимно, а затем под фамилией автора), в которой изложены основы его корпускулярной теории;
- 1666 г. — учреждение Парижской академии наук;
- 1668 г. — начало микроскопических исследований А. ван Левенгука;
- 1687 г. — издание труда «Математические начала натуральной философии» И. Ньютона, в котором изложены основы классической механики.

Данная система основных идей и ценностей является своего рода «генетическим кодом» техногенной цивилизации, во многом определяющим пути её развития. Насколько эта система ценностей связана с христианской традицией?

Некоторые историки считают, что идеал техногенной цивилизации («Человек — царь природы») имеет свои истоки в христианском понимании места человека в мире. Сотворённый по образу и подобию Бога, человек занимает особое, центральное место, а природа предназначена для его пользы. Иерархия мира обрела в христианской культуре следующий вид: Бог над человеком, человек над природой.

Кроме того, многие христианские мыслители и естествоиспытатели, особенно в XVI—XVII вв., полагали возможным и даже необходимым познавать Творца мира путём познания Его творения. Подобные толкования, принятые в западноевропейском христианстве (протестантизме и католичестве), могли способствовать появлению «генетического кода» техногенной цивилизации.

Именно к западнохристианской догматике восходят основные особенности психологии научной деятельности: непримиримость к противоречию, твёрдая вера в разрешимость любой проблемы с помощью разума и опыта, нетерпимость к плагиату, самоустранение от описания и объяснения природных явлений. Таким образом, свой-

ственный западноевропейской культуре Нового времени идеал активного, деятельного отношения человека к природе и понимания природы как источника ресурсов для деятельности человека создал основу техногенной цивилизации. Этому способствовали традиции западноевропейского христианства.

ПОДХОДЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ ПРИРОДЫ. Вместе с тем в традициях православного христианства формировался иной подход к исследованию природы. В чём состоит это различие? Почему наука Нового времени не сформировалась в рамках православной традиции?

Православная христианская традиция приводит к принципиально иному подходу к пониманию роли человека в природе: только из личного опыта предстояния Богу, из опыта верности и веры человек может получить подлинное знание о мире. «Потщись войти во внутреннюю свою клеть, — писал преподобный Исаак Сирин, — и узришь клеть небесную, потому что та и другая — одно и то же, и, входя в одну, видишь обе».

Такая позиция несовместима с самой идеей научного познания и потому тормозила формирование науки. Действительно, в России наука стала развиваться в результате петровских преобразований, и ранняя российская наука была импортирована в Россию из стран Западной Европы.

ВЗАИМООТНОШЕНИЯ НАУКИ И РЕЛИГИИ. Сопоставляя науку и религию, отметим, что обе они, как и любая деятельность человека, представляют собой сложные социальные явления. Пути развития и науки, и религии зависимы от исторических условий жизни общества, от культурных традиций, от экономических и политических условий, а также от множества других факторов.

Именно поэтому в ходе истории пути науки и религии многократно пересекались. Возникали и конфликты. Они всегда были связаны с конкретными факторами своего времени, в том числе с попытками и религии, и науки присвоить себе монопольное право на объяснение мира. Со временем наука обрела самостоятельность, произошло размежевание науки и религии.

Наука объясняет мир естественными причинами. Она отвечает на вопрос, КАК устроен мир, не касаясь вопросов, связанных со смыслом существования мира, т. е. ЗАЧЕМ он существует. На этот вопрос, связанный с нравственными устремлениями человека, отвечает религия. В настоящее время считается, что наука и религия — это различные способы постижения мира человеком. Они удовлетворяют разные аспекты духовных и материальных потребностей человека.

??

► Г. Галилей, разъясняя различие целей науки и религии, сказал, что «астрономия учит, как устроено небо, а не как попасть на небо». Однако такая позиция учёного не устраивала теологов (богословов). Почему?

...Наша свобода в выборе проблем, похоже, очень невелика.

В. Гейзенберг

?

Существуют ли традиции в науке и какова их роль? Что такое научная революция?

Ключевые
слова

Научная традиция • Парадигма • Научная революция

Из **старого**
портфеля

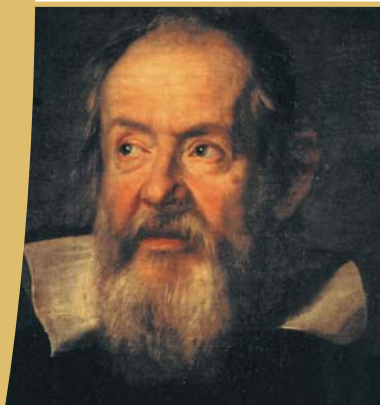
Роль физики в формировании научной картины мира (Физика, 7—9 кл.).

ТРАДИЦИИ И НОВАЦИИ В НАУКЕ. Наука, в том числе и естествознание, относится к тем видам человеческой деятельности, которые нацелены на получение нового: фактов, наблюдений, взаимосвязей, закономерностей, теорий. О каких же традициях в науке может тогда идти речь? Ведь традиция — это нечто неизменное (обычай, норма поведения, способы действия, знания), что передаётся из поколения в поколение, по крайней мере в течение какого-то исторического периода.

Однако если внимательно присмотреться к работе учёного, то нетрудно заметить, что обычно он трудится в русле определённых **научных традиций**. Действительно, после создания Ньютоном в конце XVII в. основ классической механики учёные получили возможность изучать самые разнообразные явления — от движения живых организмов до движения планет. Менялись объекты исследования. Так, в одном случае требовалось рассчитать траекторию полёта снаряда, а в другом — первую космическую скорость, но в основе всех этих расчётов и объяснений механических явлений лежала механика Ньютона, пусть даже её основные уравнения стали со временем записываться в более

общем виде и не так, как они даны в школьном учебнике.

Иными словами можно сказать, что в науке сложилась определённая традиция: понимать и изучать широкий класс объектов и явлений на основе классической механики. Были даже попытки распространить механические объяснения на все природные, а в отдельных случаях и на социальные явления. Но к концу XIX в. выяснилось, что далеко не всё в окружающем нас мире можно объяснить, опираясь толь-



Какие научные открытия Галилея вам известны? В чём, по вашему мнению, заключается революционность (или новизна) подхода Галилея к изучению природы?

Юстус Сустерманс.
Галилео Галилей

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

ко на законы механики. Да и сама классическая механика применима лишь к случаям, когда скорость движения меньше скорости света. Не описывает она и явления микромира.

Научные знания, методы и приёмы исследования, лежащие в основе традиции, часто называют **парадигмой** (от греч. *paradeigma* — пример, образец). В естествознании под парадигмами обычно понимают такие широкие обобщения, как гелиоцентрическая система Коперника, механика Ньютона, квантовая механика, классическая теория химического строения, эволюционная теория Дарвина и т. д. Парадигма включает:

- совокупность понятий (например, парадигма классической механики включает понятия: скорость, ускорение, сила, инерция, масса, траектория, гравитация и т. д.);

- законы, часто (но не всегда) выраженные в виде уравнений (например, законы Ньютона);

- образцы постановки эксперимента и решения конкретных задач и проблем, с которыми сталкивается изучающий данную науку исследователь.

Более того, парадигма — это ещё и философские позиции, принятые в данном научном сообществе и проявляющиеся при выборе направлений исследования, при оценке полученных результатов и состояния науки в целом.

В течение определённого времени научные исследования в любой области опираются на прошлые достижения, которые в этот период времени признаются основой для развития данной области знаний. Вот эти-то достижения и составляют основу традиции в науке. Определённый комплекс знаний (понятий, законов, приёмов объяснения и др.) передаётся из поколения в поколение, хотя сами решаемые задачи могут быть разными и со временем изменяться.

Традиция играет очень важную роль в науке: она является необходимым условием быстрого накопления знаний и их использования.

**В новый
портфель**

РАЗВИТИЕ НАУКИ КАК СМЕНА ПАРАДИГМ. Наука не стоит на месте, время от времени она сталкивается с явлениями, объяснить которые в рамках существующих парадигм не удаётся. Скажем, не удаётся на основе механики Ньютона объяснить электрические и магнитные явления. В таком случае возникает потребность в создании новых теорий, которые составили бы основу новой парадигмы, новой научной традиции.

НАУЧНЫЕ РЕВОЛЮЦИИ. Под **научными революциями** понимают такие новации, которые отличаются своей значимостью, своими последствиями для развития науки и наших представлений о самой науке.

Иногда термин «революция» используют, характеризуя то или иное важное открытие в науке, а выражение «революционное открытие» фактически означает важное (или очень важное) открытие в данной области знаний. Определить, что считать научной революцией, а что не считать таковой, очень сложно. Поэтому возможны различные точки зрения. Скажем, подавляющее большинство историков науки не считают открытие Д. И. Менделеевым периодического закона

Не каждое даже крупное научное открытие является революцией в науке. Например, введение в физику понятия «поле» и последующее создание электромагнитной теории, бесспорно, следует рассматривать как научную революцию, поскольку вместе с этой теорией возникла новая научная парадигма, глубоко изменившая взгляды человека на окружающий мир. А вот открытие Г. Герцем электромагнитных волн, при всей колоссальной важности этого открытия (особенно для развития новых технических направлений — беспроволочной телеграфии, радиосвязи и т. д.), нельзя считать научной революцией, так как это открытие подтвердило выводы ранее созданной электромагнитной теории Дж. Максвелла.

научной революцией в широком смысле слова, отнюдь не отрицая важности этого открытия.

Научные революции связаны с перестройкой основных научных традиций. При этом предшествующие научные традиции либо уходят в прошлое (например, геоцентризм), либо продолжают существовать в пределах области своей применимости (например, классическая механика). Кроме того, научные революции затрагивают мировоззренческие и философские основания науки. Поэтому научные революции могут иметь большое влияние далеко за рамками той конкретной области, в которой они произошли.

Создание новых фундаментальных теорий наиболее известный вид научных революций. Примером могут служить революции в науке, совершённые Коперником, Ньютоном, Лавуазье, Дарвином и др. Часто научные революции связаны с внедрением новых методов исследования. Характерный пример — изобретение телескопа.

Иногда научные революции обусловлены открытием новых областей действительности, т. е. неизвестных ранее объектов и явлений (например, открытие нового континента, названного Австралией, а там — новых, неизвестных ранее видов животных (сумчатые кенгуру) и растений (эвкалипт), существование которых даже не предполагалось).

Чем крупнее научная революция, чем глубже она изменяет наши представления о мире, тем больше такая революция связана с социокультурными изменениями. Фактически научная революция XVI—XVII вв., начавшаяся с создания Коперником гелиоцентрической теории и завершившаяся созданием Ньютоном основ классической механики и оптики, была частью глубоких политических, экономических, военных, а главное, интеллектуальных изменений в Европе.

В новый портфель

Учёные могут успешно работать только в рамках определённых парадигм; однако в силу самых разнообразных обстоятельств (открытие новых явлений, объектов, областей реальности, внедрение новых приборов и методов исследования, ведущих к новым открытиям) происходит смена парадигм. Если эта смена влечёт за собой глубокие изменения в понимании той или иной области действительности или ведёт к новой картине мира, то это явление характеризуют как научную революцию.

??

- ▶ А. С. Пушкин сказал об «Истории государства Российского» Н. М. Карамзина: «Древняя Россия, казалось, найдена Карамзиным, как Америка Колумбом». Как вы понимаете эту аналогию?
- ▶ К каким крупным изменениям в естествознании привело изобретение микроскопа?
- ▶ Что общего и что различного у революций научных и социальных?
- ▶ Прокомментируйте следующий исторический курьёз. Когда в 1856 г. в долине Неандера (Германия) был найден череп, который был толще, длиннее и уже, чем у современного человека, с массивными надбровными дугами, находку начали изучать анатомы. Мнения разделились:
 - а) это череп пожилого голландца;
 - б) это череп русского казака, который в погоне за отступающей армией Наполеона отбился от своих, забрёл в пещеру и там умер;
 - в) череп принадлежит кельту с мощной физической, но низкой умственной организацией.
 Окончательное решение было таково: это череп человека, переболевшего в детстве рахитом, в юности получившего несколько ударов палкой по голове, а в старости страдавшего ревматизмом. Оставался, правда, вопрос о древности находки. Учёные пришли к выводу, что этот человек, скорее всего, современник Наполеона. Позже находка была признана черепом неандертальца.

14 ЭКСПЕРИМЕНТ. ТЕОРИЯ. ПРАКТИКА

39

Урок-конференция

Наука — капитан, а практика — солдат.
Леонардо да Винчи



Что такое гипотетико-дедуктивный метод познания природы? Как построить научное исследование? Какова сегодня роль математики и теоретических моделей в науке?

ЦЕЛЬ КОНФЕРЕНЦИИ. Рассмотреть различные подходы к построению современного научного исследования.

ПЛАН КОНФЕРЕНЦИИ

1. Гипотетико-дедуктивный метод в исследовательской деятельности.
2. Планирование и проведение опыта на основе гипотезы.
3. Особенности методологии Эйнштейна и Декарта.
4. Роль математики в естественных науках и теоретическое моделирование.

При изучении естественных наук мы применяем теоретические и эмпирические методы познания. Для эффективного их использования необходимы определённые исследовательские умения. Можем ли мы построить свои рассуждения и практические действия так, чтобы кратчайшим путём решить какую-либо проблему, возникающую при изучении природы? Какие методы целесообразно при этом использовать? Какова будет их последовательность?

В нашей учебной практике будем использовать сложившуюся в результате исследований многих учёных-естествоиспытателей последовательность действий:

1. Анализ фактов на основе проведённых наблюдений.
2. Постановка проблемы на основе анализа фактов.
3. Выдвижение гипотезы, возможных следствий, которые можно проверить в случае верной гипотезы.
4. Эмпирическая проверка следствий гипотезы — постановка эксперимента.
5. Анализ результатов эксперимента, теоретические выводы о справедливости (или несправедливости) гипотезы, возможность практического применения результатов исследования.

Научившись применять эту цепочку действий в ходе любого исследования, мы приблизимся к освоению методологии естественных наук. Это знание поможет нам в любой деятельности, которая предполагает решение проблем, поиск ответов на сложные, нестандартные вопросы.

СООБЩЕНИЕ 1

Гипотетико-дедуктивный метод исследования: сущность, примеры применения в естествознании.

Источники информации

1. Капица П. Л. Эксперимент. Теория. Практика / П. Л. Капица. — М.: Наука, 1981.
2. Мигдал А. Б. От догадки до истины / А. Б. Мигдал. — М.: Просвещение, 2008.

Слова для поискового запроса: гипотетико-дедуктивный метод, научная гипотеза, эмпирические и теоретические методы познания.

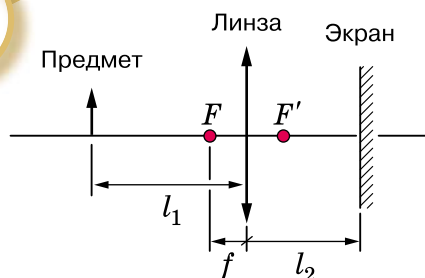
**Рис. 7**

Схема опыта по исследованию свойств линзы

СООБЩЕНИЕ 2

С помощью лабораторного оборудования выполните демонстрационный эксперимент — исследование по физике (оптика).

Организируйте демонстрацию опыта как проблемное исследование учеников вашего класса. Используйте цепочку познавательной деятельности для исследования зависимости расстояния между двояковыпуклой линзой и чётким изображением светящегося предмета на экране от расстояния между линзой и предметом (рис. 7). Эту зависимость можно описать качественно.

* Вы выполните исследовательское задание повышенной сложности, если вам удастся вывести так называемую формулу линзы, т. е. получить количественную зависимость между величинами l_1 , l_2 и т. д.

ПОДСКАЗКА

Не забудьте определить фокусное расстояние f линзы (вы учились этому в 8 или 9 классе).

Подберите оборудование с помощью учителя. Ход размышлений и исследований опишите, заполнив таблицу.

Результаты наблюдений	Формулировка проблемы	Рабочая гипотеза	Результаты эксперимента	Теоретические выводы

Источники информации

1. Пёрышкин А. В. Физика: учеб. для 8 кл. / А. В. Пёрышкин. — М.: Дрофа, 2011.
2. Физика. 11 класс: учеб. для общеобразоват. организаций с прил. на электрон. носителе: базовый уровень / [Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев, В. М. Чаругин]; под ред. Н. А. Парфентьевой. — М.: Просвещение, 2014.

СООБЩЕНИЕ 3

Методология Эйнштейна и Декарта.

В лекции «О методе теоретической физики» А. Эйнштейн говорил: «Я убеждён, что посредством чисто математических конструкций мы можем найти те понятия и закономерные связи между ними, которые дадут нам ключ к пониманию явлений природы. Опыт может подсказать нам соответствующие математические понятия, но они ни в коем случае не могут быть выведены из него. Конечно, опыт остаётся единственным критерием пригодности математических конструкций физики. Но настоящее творческое начало присуще именно математике. Поэтому я считаю в известной мере оправданной веру древних в то, что чистое мышление в состоянии постигнуть реальность».

А вот высказывание Р. Декарта: «Под интуицией я понимаю не зыбкое свидетельство чувств и не обманчивое суждение неправильно слагающего воображения, а понимание ясного и внимательного ума. Настоятельно лёгкое и отчётливое, что не остаётся совершенно никакого сомнения относительно того, что мы разумеем, или, что то же самое, несомненное понимание ясного и внимательного ума, которое порождается одним лишь светом разума».

Опишите сущность методов, которые используют Эйнштейн и Декарт.

Источники информации

1. Горелов А. А. Концепции современного естествознания: учеб. пособие для вузов / А. А. Горелов. — М.: АСТ: Астрель, 2009.
2. Декарт Р. Сочинения. В 2 т. Т. 1. Мир, или Трактат о свете / Р. Декарт. — М.: Мысль, 1989.
3. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. В 4 т. Т. 1 / А. Эйнштейн. — М.: Наука, 1967.

Слова для поискового запроса: методология Эйнштейна, философия Декарта.

СООБЩЕНИЕ 4

Роль математики в естественных науках.

«Философия написана в величественной книге (я имею в виду Вселенную), которая постоянно открыта нашему взору, но понять её может лишь тот, кто сначала научится постигать её язык и толковать знаки, которыми она написана. Написана же она на языке математики, и знаки её — треугольники, круги и другие геометрические фигуры, без которых человек не смог бы понять в ней ни единого слова; без них он был бы обречён блуждать в потёмках по лабиринту» (Галилей Г. Пробирных дел мастер / Г. Галилей. — М.: Наука, 1987. — С. 41).

«В общих чертах та роль, которую играла математика в естествознании в течение многих веков, привела нас к осознанию того, что никакое соотношение не может быть определено вне соответствующих логических рамок и что всякая кажущаяся дисгармония в описании наших знаний может быть устранена лишь с помощью расширения системы понятий. Эти обстоятельства, хорошо знакомые математикам и сразу бросающиеся в глаза при изучении основ их науки, развитие физики выдвинуло в форме, находящей себе применение во многих областях человеческого познания и интересов, в которых мы сталкиваемся с подобными же ситуациями при анализе и синтезе опытных данных» (Бор Н. Избранные научные труды / Н. Бор. — М.: Наука, 1988. — (Классики науки). — С. 280—288).

Подберите другие высказывания учёных о роли математики в естественных науках. Сделайте обобщения.

Источники информации

Свасьян К. А. Становление европейской науки / К. А. Свасьян. — Ереван: Evidentis, 2002.

Слова для поискового запроса: математика в естественных науках, математика — язык науки.

СООБЩЕНИЕ 5

Сущность мысленного эксперимента как метода.

Два описания мысленного эксперимента — Галилеем и Эйнштейном.

Источники информации

1. Ахутин А. В. История принципов физического эксперимента: от Античности до XVII в. / А. В. Ахутин. — М.: Наука, 1976.
2. Голубинцев В. О. Концепции современного естествознания: учеб. пособие / [В. О. Голубинцев и др.]; под ред. С. И. Самыгина. — М.: Феникс, 2005.
3. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. В 4 т. Т. 4 / А. Эйнштейн. — М.: Наука, 1967.

Слова для поискового запроса: мысленный эксперимент, метод мысленного эксперимента.

В истории науки развивались представления о методах исследования. В разные эпохи центральная роль отводилась то теоретическим, то практическим методам. Современная методология естественных наук в большей степени основана на гипотетико-дедуктивном методе. Важная роль отводится математике. Основу научного естествознания составляет эксперимент.

В новый
портфель

ОБОБЩЕНИЕ И ОСМЫСЛЕНИЕ МАТЕРИАЛА ГЛАВЫ

В вопросах естествознания... познание явлений есть то, что ведёт нас к изысканию и нахождению причины. Без этого мы будем блуждать подобно слепому и даже с ещё меньшей уверенностью, ибо мы не будем знать, какой целью нам задаться, а слепому, по крайней мере, известно, куда он хочет прийти.

Г. Галилей

Наука — особый вид человеческой деятельности, главной целью которого является получение знания о мире. Многообразие методов и подходов в научном познании обусловлено многообразием действительности, которую изучает наука.

Человек — уникальный компонент природы, способный осознавать себя и окружающий мир, способный познавать природу и законы её функционирования.

Естествознание изучает природу. Для учёного-естествоиспытателя природа — это первозданный мир, на который он смотрит под определённым углом зрения, считая этот мир естественно упорядоченным и закономерным.

ЭКСПЕРИМЕНТ МИЛЛЕРА—ЮРИ. В 1953 г. в Чикагском университете был поставлен один из самых известных опытов середины XX в., так называемый *эксперимент Миллера—Юри*. Идея опыта была простой: в лаборатории воспроизвести атмосферу древней Земли (какой она была, по мнению учёных) и наблюдать за тем, что происходит. Аспирант университета Стэнли Миллер под руководством своего учителя, лауреата Нобелевской премии (1934) Гарольда Юри, собрал установку из двух стеклянных колб, соединённых стеклянными трубками (рис. 8). В этой установке испарявшиеся из нижней колбы вещества циркулировали по замкнутому контуру, охлаждались и вновь поступали в нижнюю колбу. Установку заполнили смесью газов, присутствовавших в добиологической атмосфере Земли, — водорода, метана и аммиака, а нижнюю колбу — водой. Нижнюю колбу нагревали на горелке, в верхней колбе с помощью двух вольфрамовых электродов создавали электрические разряды, имитирующие разряды молний. При нагревании вода в нижней колбе испарялась, водяной пар поступал в верхнюю колбу и подвергался воздействию электрического разряда. После этого пар охлаждался и возвращался в нижнюю колбу, где весь цикл начинался вновь.

После двух недель работы установки жидкость в колбе приобрела красно-коричневый оттенок и стала маслянистой. Миллер провёл анализ этой жидкости и обнаружил в ней аминокислоты — основные структурные единицы белков.

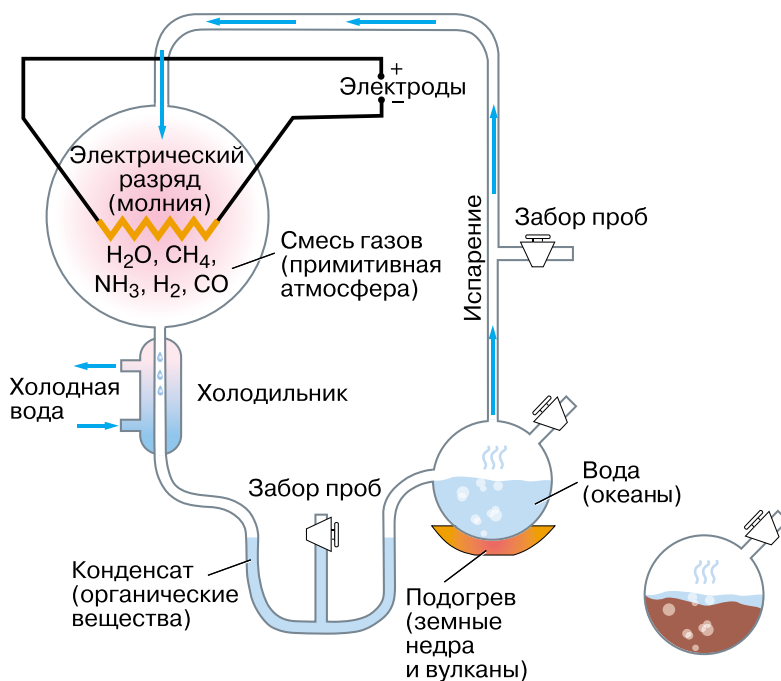


Рис. 8
Схема установки Миллера—Юри

Начиная с 1953 г. с помощью усложнённых вариантов эксперимента Миллера—Юри учёными были получены все виды биологических молекул, включая сложные белки, необходимые для клеточного метаболизма, и жировые молекулы, называемые липидами и образующие мембраны клетки.

ПОДУМАЙТЕ И ОТВЕТЬТЕ

1. Какова идея эксперимента Миллера—Юри?
2. Назовите эмпирические и теоретические методы исследования, которые использовали Миллер и Юри.
3. В чём ценность описанного эксперимента для науки?
4. Можно ли сказать, что результаты эксперимента Миллера—Юри подтверждают гипотезу «Жизнь — это неожиданное свойство материи, возникающее скачкообразно в определённый момент и отсутствующее у её составных частей»?
5. Каким образом можно усовершенствовать установку Миллера—Юри?
6. Можно ли применить к результатам эксперимента такие критерии научного знания, как систематичность, открытость, объективность?
7. Известно, что в горячих гейзерах создаются условия, близкие по своим характеристикам к условиям эксперимента Миллера—Юри. Могут ли в этих горячих источниках образовываться биологические молекулы?

2

ГЛАВА

СТРУКТУРЫ МИРА ПРИРОДЫ: ЕДИНСТВО МНОГООБРАЗИЯ

15 МАСШТАБЫ ВСЕЛЕННОЙ

Урок-лекция

Мы думаем, что изучаем звёзды, а оказалось, что изучаем атом.

Р. Фейнман

?

Что понимают под Вселенной? Что такое микромир, макромир и мегамир и каковы их масштабы? Чем ограничены наши возможности при изучении больших масштабов мегамира и мельчайших масштабов микромира?

Ключевые
слова

Макромир • Микромир • Мегамир

Из **старого**
портфеля

Планетарная модель атома (Физика, 7—9 кл.). Атомы и молекулы (Химия, 7—9 кл.).

ОБРАЗ ВСЕЛЕННОЙ. Под Вселенной понимают совокупность всех объектов, которые так или иначе наблюдаются человеком. Из них лишь немногие доступны для наблюдения с помощью органов чувств. Эту часть мира называют **макромиром**. Мельчайшие объекты (атомы, элементарные частицы) составляют **микромир**. Объекты, имеющие гигантские размеры и удалённые от нас на очень большие расстояния, называют **мегамиром**.

МАСШТАБЫ МИРОВ. Границы между этими мирами достаточно условны. Чтобы наглядно представить объекты макромира, микромира и мегамира, будем мысленно увеличивать или уменьшать некоторую сферу в большое число раз.

Начнём со сферы радиусом 10 см. Это типичный размер объекта макромира. Чтобы достаточно быстро добраться до границ познанного мира, нам придётся увеличивать или уменьшать сферу во много раз. Возьмём в качестве такого большого числа миллиард.

1. Увеличив сферу радиусом 10 см в миллиард раз, мы получим сферу радиусом 100 000 км. Что это за размер? Это приблизительно четверть расстояния от Земли до Луны. Такое расстояние вполне доступно для передвижения человека; так, астронавты уже побывали на Луне. Всё, что имеет размеры такого порядка, следует отнести к макромиру (рис. 9).

2. Увеличив сферу ещё в миллиард раз, мы получим сферу радиусом 10^{14} км. Это уже астрономический размер. В астрономии для удобства измерения расстояний используют световые единицы, которые соответствуют времени, необходимому свету, чтобы преодолеть определённое расстояние.

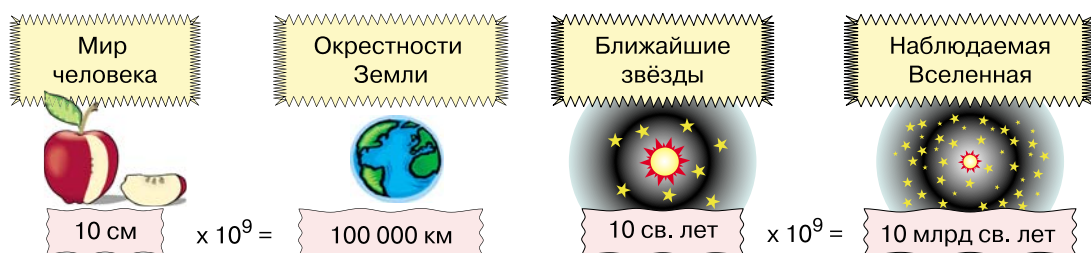


Рис. 9. Масштабы макромира

Рис. 10. Масштабы мегамира

Что же представляет собой сфера радиусом 10 св. лет? Расстояние до ближайшей к нам звезды равно примерно 4 св. года. (Солнце, конечно, тоже одна из звёзд, но в данном случае мы его не рассматриваем.) Сфера радиусом 10 св. лет, центр которой находится на Солнце, содержит около десятка звёзд. Расстояние в несколько световых лет уже недоступно для перемещения человека. При достижимых для человека скоростях (около 30 км/с) добраться до ближайшей звезды можно примерно за 40 000 лет. Каких-то иных мощных двигателей, например работающих на основе ядерных реакций, в настоящее время не существует даже в проекте. Так что в обозримое время человечество вынуждено мириться с тем, что перемещение на звёзды невозможно.

Конечно же, расстояние в 10 св. лет относится уже к мегамиру. Тем не менее это ближний к нам космос. Мы достаточно много знаем о ближайших к нам звёздах: довольно точно измерены расстояния до них, температуры их поверхностей, определены их составы, размеры и массы. У некоторых звёзд обнаружены спутники — планеты. Данные сведения получены при изучении спектров излучения этих звёзд. Можно сказать, что сфера радиусом 10 св. лет достаточно хорошо изученный космос.

3. Сделав очередное увеличение сферы в миллиард раз, мы получим сферу радиусом 10 млрд св. лет. Именно на таком расстоянии от нас находятся самые отдалённые объекты, которые мы способны наблюдать. Мы получили, таким образом, сферу, в которой лежат все наблюдаемые нами объекты Вселенной. Заметим, что объекты, находящиеся от нас на таком огромном расстоянии, — это очень яркие светила; звезда, сравнимая с Солнцем, не была бы видна даже в самые мощные телескопы.

Что находится за пределами этой сферы, сказать трудно. Согласно общепринятой гипотезе мы вообще не можем наблюдать объекты, удалённые от нас на расстояние более 14 млрд св. лет. Это связано с тем, что наша Вселенная родилась около 14 млрд лет тому назад, поэтому свет от более удалённых объектов просто ещё не дошёл до нас. Итак, мы добрались до границ мегамира (рис. 10).

Граница наблюдаемой нами Вселенной находится на расстоянии приблизительно 10 млрд св. лет.

В новый
портфель

4. Будем теперь двигаться вглубь микромира. Уменьшив сферу радиусом 10 см в миллиард раз, получим сферу радиусом $10^{-8} \text{ см} = 10^{-10} \text{ м} = 0,1 \text{ нм}$. Это характерный для микромира масштаб. Размеры такого порядка имеют атомы и простейшие молекулы.

Объекты такого размера недоступны для наблюдения невооружённым глазом и даже не видны в самые мощные микроскопы, поскольку длина волны видимого света лежит в диапазоне 300—700 нм, т. е. в ты-

Несложно рассчитать, сколько километров составляет световой год: $1 \text{ св. год} = 300\,000 \text{ км/с} \cdot 3600 \text{ с} \cdot 24 \text{ ч} \cdot 365,25 \text{ сут.} = 9\,467\,280\,000\,000 \text{ км} \approx 10^{13} \text{ км}$.
Таким образом, 10 св. лет $\approx 10^{14} \text{ км}$.

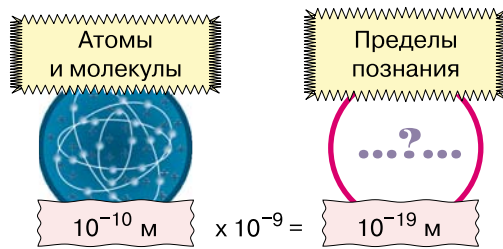


Рис. 11. Масштабы микромира

сячи раз превышает размеры объектов. О структуре атомов и молекул судят по косвенным данным, в частности по спектрам атомов и молекул. Все картинки, на которых изображены атомы и молекулы, есть модельные образы. Тем не менее можно считать, что мир атомов и молекул — мир размером порядка 0,1 нм — уже достаточно хорошо изучен и каких-то принципиально новых законов в этом мире не появится. Однако следует отметить, что прикладные

исследования структур масштабов от 10^{-9} до 10^{-6} м в настоящее время активно развиваются. Эти исследования являются основой *нанотехнологий*, а для указанных масштабов иногда используют понятие *наномир*.

5. Уменьшив сферу радиусом 0,1 нм в миллиард раз, получим сферу радиусом 10^{-17} см, или 10^{-19} м. Мы фактически достигли пределов познания. Размеры мельчайших частиц вещества — электронов и кварков (о них будет рассказано в § 26) — порядка 10^{-16} см, т. е. немного больше, чем наша сфера. Что находится внутри электронов и кварков, или, иначе говоря, являются ли электроны и кварки составными частицами, в настоящее время неизвестно. Возможно, что размер 10^{-17} см уже не соответствует какой-либо реальной структурной единице вещества.

Законы, определяющие движение и структуру материи в масштабах 10^{-15} — 10^{-16} см, ещё не до конца изучены. Современные экспериментальные возможности не позволяют ещё глубже проникнуть в микромир.

Какими причинами ограничен наш доступ в более мелкие масштабы? Дело в том, что основным методом изучения структуры микрочастиц является наблюдение за столкновениями между различными частицами. Законы природы таковы, что на малых расстояниях частицы отталкиваются друг от друга. Поэтому, чем более мелкие масштабы исследуют учёные, тем большую энергию необходимо сообщить сталкивающимся частицам. Эта энергия сообщается при разгоне частиц на ускорителях, причём, чем большую энергию необходимо сообщить, тем больше должны быть размеры ускорителей. Современные ускорители имеют размеры в несколько километров. Примером является Большой адронный коллайдер, исследования на котором начались в 2008 г. Длина основного кольца ускорителя составляет 26 659 м. Для того чтобы продвинуться ещё больше вглубь микромира, необходимы ускорители размером с земной шар.

Итак, теперь вы должны представлять, каким масштабам соответствует микромир (рис. 11).

В новый портфель

Наши познания о структурах Вселенной малых масштабов ограничены размерами порядка 10^{-16} см, что примерно соответствует размерам электрона.

В микромире, макромире и мегамире законы природы проявляются по-разному. Объекты микромира обладают одновременно свойствами частиц и свойствами волн, в макромире и мегамире таких объектов практически не существует.

??

- ▷ Почему мы не можем заглянуть «за горизонт» Вселенной и увидеть объекты, удалённые от нас на расстояние более 14 млрд св. лет?
- ▷ Что общего в экспериментальных методах изучения мегамира и микромира?
- ▷ Некоторые микрочастицы живут в течение 10^{-18} с, после чего распадаются. С чем сравнима соответствующая световая единица длины (расстояние, которое свет проходит за это время)?

16 СРЕДСТВА ИЗУЧЕНИЯ МИКРОМИРА И МЕГАМИРА

47

Урок-практикум

Мне совершенно ясно, как мало зависит от прибора
и как много — от человека, который перед ним сидит.

В. Оствальд

?

Что такое разрешение глаза? Каков принцип действия микроскопа и телескопа?

Собирающая и рассеивающая линзы. Построение изображения с помощью тонкой линзы. Фокусное расстояние (Физика, 8 кл.). Устройство глаза (Анатомия, 9 кл.).

Из старого
портфеля

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Понять, что такое угловое увеличение оптического прибора и как можно разглядеть далёкие объекты и слишком малые объекты. Познакомиться с современными микроскопами и телескопами и их возможностями.

ПЛАН РАБОТЫ

1. Рассчитать оптические характеристики глаза, микроскопа.
2. Провести наблюдение с помощью микроскопа.
3. Определить увеличения телескопа.

В начале XVII в. были созданы оптические приборы для изучения микромира — микроскопы — и мира астрономического — телескопы (рис. 12).

Глаз человека также является простейшим оптическим прибором. Возможности глаза, как и любого прибора, ограничены. Минимальный угол между двумя точками, при котором эти точки не сливаются, называется *разрешением глаза*. В среднем эта величина равна $0,5'$.

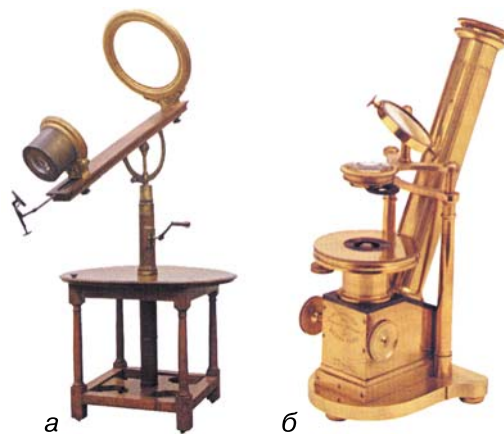


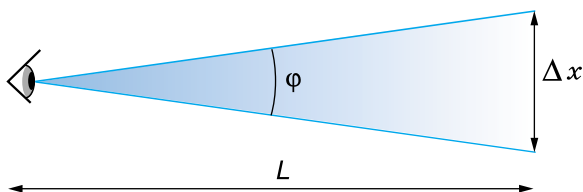
Рис. 12

Исторические технические средства для постижения таинств природы:
а — микроскоп; б — телескоп

1. Рассчитайте, детали какого размера Δx может различить глаз человека на расстоянии наилучшего зрения $L = 25$ см.

ПОДСКАЗКА

Глаз может разглядеть детали размером $\Delta x = L \cdot \varphi$, где φ — угол зрения на предмет, измеряется в радианах. Одна угловая минута $1' = 1/(60 \cdot 57)$ радиан, $0,5' = 1/(2 \cdot 60 \cdot 57)$. Таким образом, $\Delta x = L/(2 \cdot 60 \cdot 57)$.



Объекты, которые наблюдаются глазом под углом, меньшим $0,5'$, сливаются в одну точку. Это могут быть либо мелкие объекты, например клетки организмов, имеющие размеры около $0,01$ — $0,001$ мм, либо крупные объекты, удалённые от глаза на большое расстояние, например детали поверхности Марса. Микроскоп и телескоп увеличивают угол наблюдения, т. е. помогают рассмотреть мелкие или удалённые объекты.

2. Рассчитайте увеличение школьного микроскопа.

Увеличение микроскопа может быть рассчитано по формуле

ПОДСКАЗКА

$$\Gamma = \frac{L\Delta}{f_{об}f_{ок}},$$

где Δ — длина тубуса микроскопа; L — расстояние наилучшего зрения; $f_{об}$ и $f_{ок}$ — фокусные расстояния объектива и окуляра.

3. Рассмотрите в микроскоп объект, предложенный учителем. Оцените размеры объекта.

4. Рассчитайте увеличение телескопа, у которого параметры линз $f_{об} = 3$ м и $f_{ок} = 0,1$ м.

Увеличение телескопа можно рассчитать по формуле

ПОДСКАЗКА

$$\Gamma = \frac{f_{об}}{f_{ок}}.$$

5. Познакомьтесь с информацией о современных оптических телескопах. Если есть возможность, организуйте экскурсию в обсерваторию или астрономический институт, где наблюдают астрономические объекты с помощью телескопов (рис. 13).



а



б

Рис. 13

Российский оптический телескоп БТА-6 (диаметр зеркала 6 м), установленный на Северном Кавказе на высоте 2070 м над уровнем моря: а — башня телескопа; б — главное зеркало телескопа

В практике своей работы астрономы используют телескопы-рефракторы (объектив — линза) и телескопы-рефлекторы (объектив — зеркало). Линзовые телескопы в основном используют с целью наблюдения положений объектов, а зеркальные — для получения и исследования спектров светил. Для этого вместо окуляра помещают спектроскоп. Спектры позволяют получить информацию о физических условиях в атмосферах звёзд, планет, о свойствах межзвёздных туманностей.

Самые большие современные оптические телескопы — это телескопы-рефлекторы, размер объектива которых достигает 10 м, например телескоп Кека, который находится на Гавайских островах. Самый крупный российский телескоп находится на Северном Кавказе и имеет диаметр 6 м. Чем больше объектив, тем больше света от слабых объектов он собирает и тем больше разрешение телескопа.

Помимо наземных телескопов, астрономы используют космические телескопы, например телескоп Хаббла с диаметром объектива 2,5 м. Поскольку наблюдениям не мешает атмосфера Земли, этот телескоп даёт прекрасные изображения далёких объектов Вселенной. На орбите также работают гамма-телескопы, рентгеновские и инфракрасные телескопы. Самыми крупными по размерам являются всепогодные радиотелескопы, например РАТАН 600, который находится на Северном Кавказе, состоит из специальных металлических щитов, расположенных по окружности диаметром 600 м.

Дополнительные источники информации

1. Ландсберг Г. С. Оптика / Г. С. Ландсберг. — М.: Физматлит, 2010.
2. Попова А. П. Занимательная астрономия / А. П. Попова. — М.: URSS, 2012.
3. Физика. 11 класс: учеб. для общеобразоват. организаций. Профильный уровень / [О. Ф. Кабардин, А. Т. Глазунов, В. А. Орлов и др.]; под ред. А. А. Пинского, О. Ф. Кабардина. — М.: Просвещение, 2013.
4. Физика. Справочник школьника и студента / [Р. Гёбель, К. Хобольд, В. Круг]; под ред. проф. Р. Гёбеля. — М.: Дрофа, 2003.
5. Энциклопедия для детей. [Т. 8.] Астрономия. — М.: Аванта+, 2013.
6. <http://gotourl.ru/14505>
7. <http://gotourl.ru/14504>

Слова для поискового запроса: принцип работы микроскопа, принцип работы телескопа.

ОБРАЗ ЖИЗНИ

Ни в коем случае не смотрите в телескоп, бинокль или подзорную трубу на Солнце. Это слишком яркий объект — можно повредить сетчатку глаза. Наблюдают Солнце, построив его изображение на экране. Впрочем, и без телескопа смотреть прямо на Солнце не рекомендуется. Например, для наблюдения солнечного затмения вооружённым глазом следует подготовить плотно закопчённое стекло, можно также использовать очки сварщика или металлизированную светоотражающую плёнку.

Оптические приборы — микроскоп и телескоп — дают возможность увеличить угол зрения на объект, позволяя глазу с помощью окуляра разглядеть либо очень мелкие близкие, либо далёкие космические объекты. Увеличение прибора показывает, во сколько раз оптическая система увеличивает угол зрения на предмет.

Современная наука для изучения объектов микромира использует электронные микроскопы, в которых роль света играет пучок электронов, что позволяет получать изображение объекта с увеличением до 10^6 раз (разрешающая способность электронных микроскопов в 1000—10 000 раз превосходит разрешение оптических микроскопов). Для изучения природы объектов мегамира используются телескопы больших диаметров или заатмосферные телескопы.

**В новый
портфель**

17 ДИСКРЕТНОСТЬ И НЕПРЕРЫВНОСТЬ В ПРИРОДЕ

Урок-лекция

...Когда исследователь достигает стадии, на которой он перестаёт видеть за деревьями лес, он слишком охотно склоняется к разрешению этой трудности путём перехода к изучению отдельных листьев.

Журнал «Ланцет» (автор неизвестен)

?

Что такое корпускулярный и континуальный подходы к описанию различных объектов природы? Что такое поле в широком смысле слова? Для описания каких объектов применяют понятие поля? Как наглядно можно изобразить поле?

Ключевые слова

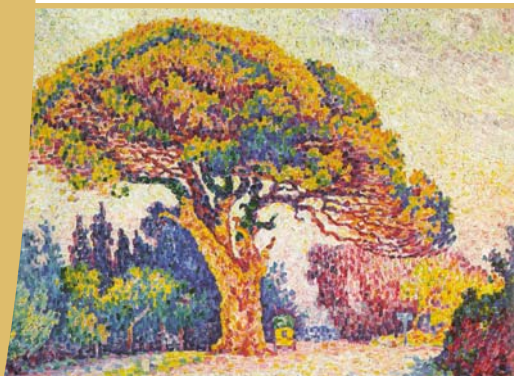
Континуальная концепция • **Корпускулярная концепция** • **Скалярное поле** • **Векторное поле**

Из старого портфеля

Броуновское движение. Электрическое поле, магнитное поле (Физика, 7—9 кл.). Глобус, географическая карта, план местности, их основные параметры и элементы (География, 5 кл.).

КОРПУСКУЛЯРНОЕ И КОНТИНУАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТОВ ПРИРОДЫ. С древнейших времён существовало два противоположных представления о структуре материального мира. Одно из них — **континуальная** концепция Анаксагора—Аристотеля — базировалось на идее непрерывности, внутренней однородности. Материю согласно этой концепции можно делить до бесконечности, и это является критерием её непрерывности. Заполняя всё пространство целиком, материя «не оставляет пустоты внутри себя».

Другое представление — атомистическая, или **корпускулярная**, концепция Левкиппа—Демокрита — было основано на дискретности пространственно-временного строения материи. Оно отражало уверенность человека в возможности деления материальных объектов на части до



Смотрю на него и не вижу, а потому называю его невидимым. Слушаю его и не слышу, а потому называю его неслышимым. Пытаюсь схватить его и не достигаю, поэтому называю его мельчайшим. Не надо стремиться узнать об источнике этого, потому что это едино.

Лао-Цзы

Что, на ваш взгляд, является связующим звеном между изображением на картине, цитатой и названием параграфа?

Поль Синьяк. Сосна. Сен-Тропе

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

определённого предела — до атомов, которые в своём бесконечном многообразии (по величине, форме, порядку) сочетаются различными способами и порождают всё многообразие объектов и явлений реального мира. При таком подходе необходимым условием движения и сочетания реальных атомов является существование пустого пространства. Таким образом, корпускулярный мир Левкиппа—Демокрита образован двумя фундаментальными началами — атомами и пустотой и материя при этом обладает атомистической структурой.

Современные представления о природе микромира сочетают в себе обе концепции.

СИСТЕМА КАК СОВОКУПНОСТЬ ЧАСТИЦ (КОРПУСКУЛЯРНОЕ ОПИСАНИЕ). Каким образом можно описать мир дискретных частиц на основе классических представлений?

Разберём в качестве примера Солнечную систему. В простейшей модели, когда планеты рассматривают как материальные точки, для описания достаточно задать координаты всех планет. Совокупность координат в некоторой системе отсчёта обозначают следующим образом: $\{x_i(t), y_i(t), z_i(t)\}$; здесь индекс i нумерует планеты, а параметр t обозначает зависимость этих координат от времени. Задание всех координат в зависимости от времени полностью определяет конфигурацию планет Солнечной системы в любой момент времени.

Если мы хотим уточнить наше описание, необходимо задать дополнительные параметры, например радиусы планет, их массы и т. д. Чем точнее мы хотим описать Солнечную систему, тем больше различных параметров для каждой планеты мы должны рассматривать.

При дискретном (корпускулярном) описании некоторой системы необходимо задать различные параметры, характеризующие каждую из составляющих системы. Если эти параметры зависят от времени, необходимо учесть эту зависимость.

В новый
портфель

СИСТЕМА КАК НЕПРЕРЫВНЫЙ ОБЪЕКТ (КОНТИНУАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ). Обращаясь к эпиграфу в начале параграфа, рассмотрим теперь такую систему, как лес. Для того чтобы дать характеристику леса, довольно бессмысленно перечислять всех представителей растительного и животного мира данного леса. И не только потому, что это слишком утомительная, если вообще возможная, задача. Заготовителей древесины, грибников, военных, экологов интересуют разные сведения. Как построить адекватную модель описания данной системы? Например, интересы лесозаготовителей можно учесть, рассмотрев среднее количество (в м^3) деловой древесины на квадратный километр леса в данном районе. Обозначим эту величину через M . Поскольку она зависит от района, который рассматривается, введём координаты x и y , характеризующие район, и обозначим зависимость M от координат как функцию $M(x, y)$. Наконец, величина M зависит от времени (одни деревья растут, другие гниют, происходят пожары и т. д.). Поэтому для полного описания необходимо знать зависимость этой величины и от времени $M(x, y, t)$. Тогда величины можно реально, хотя и приближённо, оценить на основе наблюдений за лесом.

Приведём другой пример. Течение воды представляет собой механическое перемещение частичек воды и примесей. Однако описать течение с помощью корпускулярного метода просто невозможно: в одном литре воды содержится более 10^{25} молекул. Для того чтобы охарактеризовать течение воды в различных точках акватории, необходимо знать скорость, с которой перемещаются частички воды в данной точке, т. е. функцию $\vec{v}(x, y, z, t)$. (Переменная t означает, что скорость может зависеть от времени, например при повышении уровня воды во время наводнения.)

Подобное описание называют **полевым**, а функцию, определяющую некоторую характеристику протяжённого объекта в зависимости от координат и времени, называют **полем**. В приведённых выше примерах функция $M(x, y, t)$ представляет собой **скалярное поле**, характеризующее плотность деловой древесины в лесу, а функция $\vec{v}(x, y, z, t)$ — **векторное**

В новый портфель

При непрерывном (континуальном) описании некоторого протяжённого объекта используют понятие поля. Поле — это некоторая характеристика объекта, выраженная как функция от координат и времени.

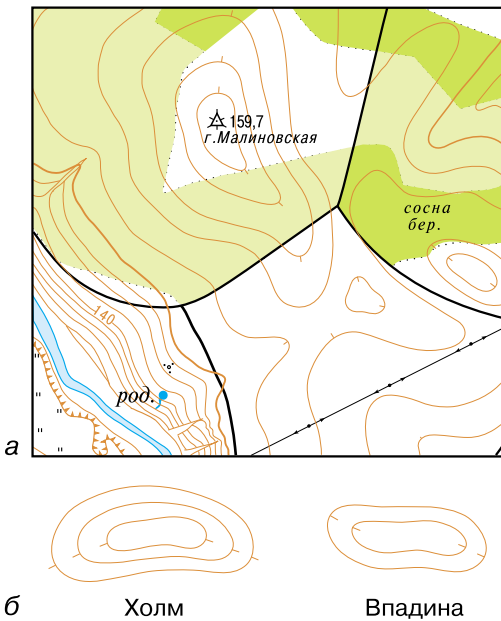


Рис. 14

Фрагмент топографической карты (а) и изображение холмов и впадин условными знаками (б)

поле, характеризующее скорость течения жидкости. Различных полей существует великое множество. Фактически, описывая любой протяжённый объект как нечто непрерывное, можно ввести своё поле, и не одно.

НАГЛЯДНОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ ПОЛЯ. При дискретном описании некоторой системы наглядное изображение не вызывает затруднений. Примером может быть знакомая вам схема Солнечной системы. Но как можно изобразить поле? Обратимся к топографической карте местности (рис. 14, а).

На этой карте, помимо всего прочего, приведены линии равных высот для холмов и впадин. Это и есть одно из стандартных наглядных изображений скалярного поля, в данном случае поля высоты над уровнем моря. Линии равных высот, т. е. линии в пространстве, на которых поле принимает одинаковое значение, проводят через некоторый интервал (рис. 14, б).

Наглядное изображение векторного поля можно также найти на географической карте — это линии течений, которые соответствуют полю скоростей жидкости. Скорость частички воды всегда направлена по касательной к такой линии. Аналогичным образом изображают и другие поля.

В новый портфель

Поле можно наглядно изобразить в виде линий в пространстве. Для скалярного поля линии проводят через точки, в которых значение переменной поля постоянно (линии постоянного значения поля). Для векторного поля линии проводят так, чтобы в каждой точке линии вектор, соответствующий полю в данной точке, был касательным к этой линии.

??

- ▶ На метеорологических картах проводят линии, называемые изотермами и изобарами. Каким полям соответствуют эти линии?
- ▶ Представьте реальное поле — поле пшеницы. Под действием ветра колоски наклоняются, причём в каждой точке пшеничного поля наклон колосков разный. Придумайте поле, т. е. укажите величину, которая могла бы описать наклон колосков на пшеничном поле. Какое это поле: скалярное или векторное?
- ▶ Планета Сатурн имеет кольца, которые при наблюдении с Земли кажутся сплошными, но на самом деле представляют собой множество спутников, движущихся по круговым траекториям. В каких случаях для колец Сатурна целесообразно применять дискретное описание, а в каких — непрерывное?

18 ПОЛЕ КАК СПОСОБ ОПИСАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

53

Урок-лекция

Сидите, разлагаете молекулы на атомы,
Забыв, что разлагается картофель на полях.
В. Высоцкий

?

Как описать гравитационное взаимодействие при помощи гравитационного поля? Как описать электрическое взаимодействие при помощи электрического поля? Почему электрическое и магнитное взаимодействия можно рассматривать как две составляющие единого электромагнитного взаимодействия?

Гравитационное поле • Пробное тело • Пробный заряд •
Электрическое поле • Магнитная сила •
Электромагнитное взаимодействие • Электромагнитное поле

Ключевые
слова

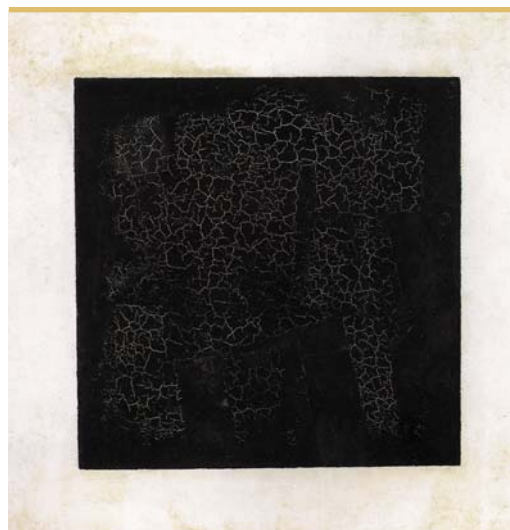
Закон всемирного тяготения. Взаимодействие зарядов. Электрическое поле. Действие электрического поля на электрические заряды. Магнитное поле тока. Действие магнитного поля на проводник с током (Физика, 7—9 кл.).

Из старого
портфеля

ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ. В курсе физики вы изучали закон всемирного тяготения, согласно которому все тела притягиваются друг к другу с силой, пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.

Рассмотрим какое-либо из тел Солнечной системы и обозначим его массу через m . В соответствии с законом всемирного тяготения на это тело действуют все другие тела Солнечной системы и суммарная гравитационная сила, которую мы обозначим через $\vec{F}_g$, равна векторной сумме всех этих сил. Поскольку каждая из сил пропорциональна массе m , то суммарную силу можно представить в виде $\vec{F}_g = m\vec{G}$. Векторная величина зависит от расстояния до других тел Солнечной системы, т. е. от координат выбранного нами тела. Из определения, которое было дано в предыдущем параграфе, следует, что величина $\vec{G}$ является характеристикой поля. Данное поле называется **гравитационным полем**.

Вблизи поверхности Земли сила, действующая на какое-либо тело, например на вас, со стороны Земли, намного превышает все остальные гравитационные силы. Это знакомая вам сила тяжести. Так как сила тяжести связана с массой тела соотношением $\vec{F}_g = m\vec{g}$, то величина $\vec{G}$ вблизи поверхности Земли есть просто ускорение свободного падения.



Казимир Малевич. Чёрный квадрат

Выскажите своё предположение, почему репродукция именно этой картины Малевича сопровождает текст параграфа.

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

Поскольку величина $\vec{G}$ не зависит от массы или какого-либо другого параметра выбранного нами тела, то очевидно, что если в ту же самую точку пространства поместить другое тело, то сила, действующая на него, будет определяться той же самой величиной $\vec{G}$, умноженной на массу нового тела. Таким образом, действие гравитационных сил всех тел Солнечной системы на некоторое **пробное тело** можно описать как действие гравитационного поля на это тело. Слово «пробное» означает, что этого тела может и не быть, поле в данной точке пространства всё равно существует и не зависит от наличия этого тела. Пробное тело служит просто для того, чтобы можно было измерить это поле измерением суммарной гравитационной силы, действующей на него.

Совершенно очевидно, что в наших рассуждениях можно не ограничиваться Солнечной системой и рассматривать любую сколь угодно большую систему тел.

В новый портфель

Гравитационную силу, создаваемую некоторой системой тел и действующую на пробное тело, можно представить как действие гравитационного поля, создаваемого всеми телами (за исключением пробного), на пробное тело.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ. Электрические силы очень похожи на гравитационные, только действуют они между заряженными частицами, причём для одноимённо заряженных частиц это силы отталкивания, а для разноимённо заряженных силы притяжения. Закон, подобный закону всемирного тяготения, — это закон Кулона, согласно которому сила, действующая между двумя заряженными телами, пропорциональна произведению зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между телами.

По аналогии между законом Кулона и законом всемирного тяготения то, что говорилось о гравитационных силах, можно повторить для электрических сил и представить силу, действующую со стороны некоторой системы заряженных тел на **пробный заряд** q , в виде $\vec{F}_e = q\vec{E}$. Величина $\vec{E}$ характеризует знакомое вам **электрическое поле** и называется **напряжённостью электрического поля**. Вывод о гравитационном поле можно почти дословно повторить для электрического поля.

В новый портфель

Электрическую силу, создаваемую некоторой системой заряженных тел и действующую на пробный заряд, можно представить как действие электрического поля, создаваемого всеми заряженными телами (за исключением пробного), на пробный заряд.

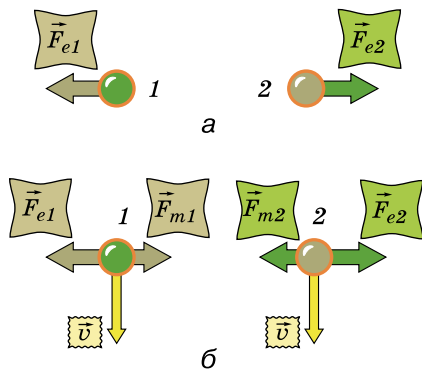


Рис. 15
Взаимодействие двух неподвижных зарядов (а) и двух движущихся зарядов (б)

Взаимодействие заряженных тел (или просто зарядов), как уже говорилось, очень похоже на гравитационное взаимодействие любых тел. Однако есть одно очень существенное отличие. Гравитационные силы не зависят от того, движутся тела или неподвижны. А вот сила взаимодействия движущихся зарядов изменяется. Например, между двумя одинаковыми неподвижными зарядами действуют силы отталкивания (рис. 15, а). Если же эти заряды движутся, то силы взаимодействия изменяются. Кроме электрических сил отталкивания, действуют и силы притяжения (рис. 15, б).

Вы уже знакомы с силой притяжения из курса физики. Именно эта сила вызывает притяжение двух параллельных проводников с током. Эту силу называют **магнитной силой**. Действительно, в параллельных проводниках с одинаково направленными

токами заряды движутся, как показано на рисунке, а значит, притягиваются магнитной силой. Сила, действующая между двумя проводниками с током, есть просто сумма всех сил, действующих между зарядами.

Почему же в этом случае исчезает электрическая сила? Всё очень просто. Проводники содержат как положительные, так и отрицательные заряды, причём количество положительных зарядов в точности равно количеству отрицательных зарядов. Поэтому в целом электрические силы компенсируются. Токи же возникают вследствие движения только отрицательных зарядов, положительные заряды в проводнике неподвижны. Поэтому магнитные силы не компенсируются.

Механическое движение всегда относительно, т. е. скорость всегда задаётся относительно некоторой системы отсчёта и изменяется при переходе от одной системы отсчёта к другой.

Из относительности движения следует, что электрическое взаимодействие и магнитное взаимодействие есть две составляющие единого электромагнитного взаимодействия.

В новый
портфель

Посмотрите ещё раз на рисунок 15. Чем различаются рисунки *а* и *б*? На рисунке *б* заряды движутся. Но это движение только в определённой, выбранной нами системе отсчёта. Мы можем выбрать другую систему отсчёта, в которой оба заряда неподвижны. И тогда магнитная сила исчезает. Это наводит на мысль, что электрическая и магнитная силы — это силы одной природы. И это действительно так. Опыт показывает, что существует единое **электромагнитное взаимодействие** зарядов, которое по-разному проявляется в различных системах отсчёта. Соответственно можно говорить о едином **электромагнитном поле**, которое представляет собой совокупность двух полей — электрического и магнитного. В различных системах отсчёта электрическая и магнитная составляющие электромагнитного поля могут проявляться по-разному. В частности, может оказаться, что в какой-то системе отсчёта исчезает либо электрическая, либо магнитная составляющая электромагнитного поля.

Электромагнитную силу, создаваемую некоторой системой зарядов и действующую на пробный заряд, можно представить как действие электромагнитного поля, создаваемого всеми зарядами (за исключением пробного), на пробный заряд.

Многие силы, действующие на тело, находящееся в вакууме или в непрерывной среде, можно представить как результат действия на тело соответствующих полей. К подобным силам относятся, в частности, гравитационная и электромагнитная силы.

В новый
портфель

??

- Во сколько раз гравитационная сила, действующая на вас со стороны Земли, больше гравитационной силы, действующей на вас со стороны Солнца? (Масса Солнца в 330 000 раз больше массы Земли, а расстояние от Земли до Солнца 150 млн км.)
- Магнитная сила, действующая между двумя зарядами, как и электрическая сила, пропорциональна произведению зарядов. Куда будут направлены магнитные силы, если на рисунке 15, *б* один из зарядов заменить противоположным по знаку зарядом?
- Куда будут направлены магнитные силы на рисунке 15, *б*, если скорости обоих зарядов изменить на противоположные?

19 ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПОЛЯ КАК СОСТАВЛЯЮЩИЕ МАТЕРИИ

Урок-лекция

...Материализация духов и раздача слонов.
Входные билеты от 50 к. до 2 р.

И. Ильф, Е. Петров

?

Что такое фундаментальные взаимодействия и фундаментальные поля? Почему фундаментальные поля можно считать одной из составляющих материи?

Ключевые
слова

**Фундаментальные взаимодействия • Фундаментальные поля •
Концепция дальнего действия • Концепция ближнего действия**

Из старого
портфеля

Сила упругости. Сила трения. Сила тяжести. Взаимодействие зарядов. Электрическое поле. Действие электрического поля на электрические заряды (Физика, 7—9 кл.).

О том, что поле — это особый вид материи, можно прочесть во многих учебниках физики и в энциклопедическом словаре. А вот пояснения к этому утверждению встречаются далеко не всегда. Поэтому часто смысл сказанного остаётся непонятым. Попробуем разобраться в этом и «материализовать поле». Заметим, что приведённое выше утверждение относится не к любым полям, а только к фундаментальным. Что же такое фундаментальные поля?

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПОЛЯ. Изучая физику, вы знакомились с различными силами — силой упругости, силой трения, силой тяжести. Каждая из этих сил характеризует некоторое взаимодействие тел. Как вы знаете, развитие науки показало, что все макроскопические тела состоят из атомов и молекул (точнее, из ядер и электронов). Из атомно-молекулярной модели следует, что некоторые из взаимодействий макроскопических тел можно представить как результат взаимодействия атомов и молекул или, при ещё большем углублении в структуру вещества, как результат взаимодействия ядер и электронов, входящих в состав макроскопических тел.

В частности, такие силы, как сила упругости и сила трения, есть результат сил, действующих между электронами и ядрами. А вот гравитационные взаимодействия и электромагнитные взаимодействия свести к каким-то другим взаимодействиям не удалось, хотя такие попытки и предпринимались.

Для характеристики взаимодействий, которые не сводятся к другим взаимодействиям, стали использовать понятие **фундаментальные**, что означает «основные».

В новый
портфель

Гравитационное и электромагнитное взаимодействия являются фундаментальными взаимодействиями.

Как говорилось в предыдущем параграфе, гравитационное и электромагнитное взаимодействия осуществляются посредством полей (гравитационного и электромагнитного соответственно). Поля, соответствующие фундаментальным взаимодействиям, стали называть **фундаментальными полями**.

Развитие науки показало, что гравитационное и электромагнитное взаимодействия — не единственные фундаментальные взаимодействия. В настоящее время обнаружено четыре таких взаимодействия. С двумя другими фундаментальными взаимодействиями вы познакомитесь при изучении микромира.

Гравитационное и электромагнитное поля — это фундаментальные поля, которые не могут быть сведены к движению каких-либо частиц.

В **новый**
портфель

ДАЛЬНОДЕЙСТВИЕ И БЛИЗКОДЕЙСТВИЕ.

Вы уже знаете, что взаимодействие частиц (заряженных и незаряженных) можно описывать при помощи полей, но можно и не вводить понятие поля. Концепцию, в соответствии с которой взаимодействие частиц описывают напрямую, без введения понятия поля, называют **концепцией дальнего действия**. Название это означает, что частицы взаимодействуют на далёком расстоянии. Другую концепцию, в соответствии с которой взаимодействие осуществляется посредством поля (гравитационного или электромагнитного), называют **концепцией ближнего действия**. Смысл понятия ближнего действия заключается в том, что частица взаимодействует с полем, которое имеется вблизи неё, хотя само это поле может создаваться частицами, находящимися очень далеко.

Например, в первом случае на заряд q действует сила F со стороны заряда Q , находящегося на расстоянии r (рис. 16, а). Во втором случае заряд Q создаёт в пространстве вокруг себя поле $\vec{E}(x, y, z)$. В частности, в точке с координатами x_0, y_0, z_0 , где находится заряд q , создаётся поле $\vec{E}(x_0, y_0, z_0)$ (рис. 16, б). Это поле, а не непосредственно заряд Q взаимодействует с зарядом q (рис. 16, в).

Исторически знания о природе развивались таким образом, что концепция ближнего действия, предложенная в 30-е гг. XIX в. английским физиком М. Фарадеем, воспринималась лишь как удобное описание.

Положение принципиально изменилось после открытия электромагнитных волн, распространяющихся с конечной скоростью — скоростью света. Из теории электромагнитных волн следовало, что любое изменение электромагнитного поля распространяется через пространство также со скоростью света. Обращаясь к примеру, приведённому на рисунке 16, можно сказать, что если заряд Q в какой-то момент времени начнёт движение, то заряд q «ощутит» изменение действующей на него силы не в тот же момент времени, а спустя время r/c (c — скорость света), т. е. время, необходимое для того, чтобы электромагнитная волна дошла от заряда Q до заряда q .

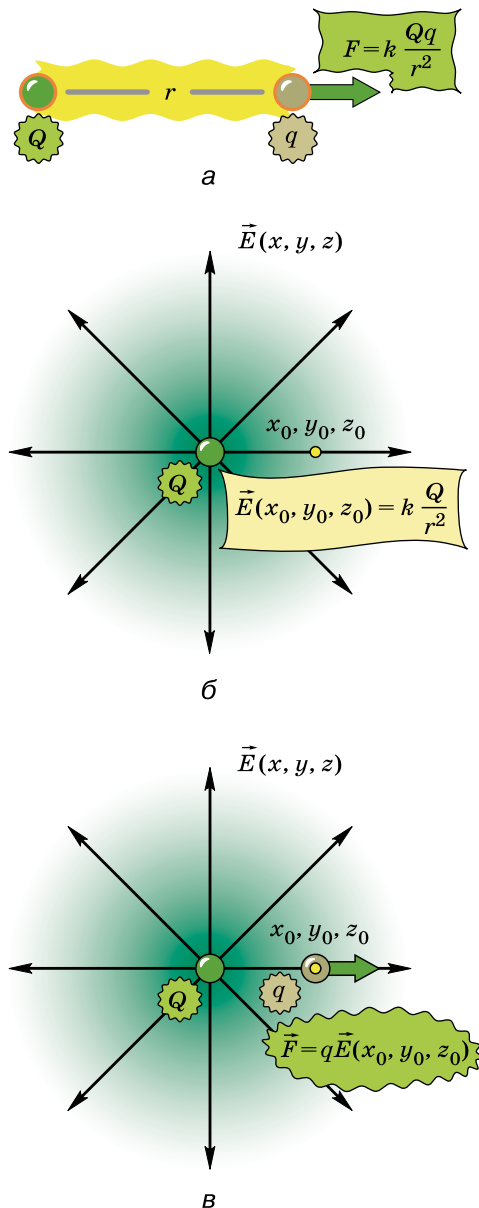


Рис. 16

Иллюстрация взаимодействия зарядов на основе концепции дальнего действия (а) и концепции ближнего действия (б, в)

Конечность скорости распространения электромагнитных волн приводит к тому, что описание электромагнитного взаимодействия на основе концепции дальнего действия становится неудобным.

Чтобы понять это, рассмотрим следующий пример. В 1054 г. на небосводе появилась яркая звезда, свет которой наблюдался даже днём в течение нескольких недель. Затем звезда угасла, и в настоящее время в районе небесной сферы, где находилась звезда, отмечается слабо светящееся образование, которое получило название Крабовидной туманности. В соответствии с современными представлениями об эволюции звёзд произошла вспышка звезды, во время которой её мощность излучения увеличилась в миллиарды раз, после чего звезда распалась. На месте ярко светящейся звезды образовались практически не излучающая нейтронная звезда и расширяющееся облако слабо светящегося газа. С позиции концепции ближнего действия наблюдение света звезды сводится к следующему. Заряды, находящиеся на звезде, создали поле, которое в виде волны дошло до Земли и оказало воздействие на сетчатку глаза наблюдателя. При этом волна достигла Земли за сотни лет. Люди наблюдали вспышку звезды, когда самой звезды уже не было. Если попробовать описать это наблюдение на основе концепции дальнего действия, то приходится считать, что на сетчатку глаза действуют не заряды звезды, а те, которые когда-то были на звезде, которой уже нет. Заметим, что в процессе образования нейтронной звезды многие заряды исчезают, поскольку из электронов и протонов образуются нейтроны — нейтральные частицы, практически не участвующие в электромагнитном взаимодействии. Согласитесь, что описание на основе взаимодействия с тем, что когда-то было, но не существует в настоящий момент времени, не очень удобно.

Другая причина признать поле материальным связана с тем, что электромагнитная волна переносит через пространство энергию и импульс (подробнее см. § 57). Если поле не считать материальным, то следовало бы признать, что энергия и импульс не связаны с чем-то материальным и сами по себе переносятся через пространство.

Сформулированная в 1905 г. А. Эйнштейном теория относительности базируется на постулате, в соответствии с которым не существует взаимодействий (в том числе и фундаментальных), распространяющихся быстрее света.

Мы начали этот параграф с «материализации духов». Физики — народ остроумный, и понятие «духи» уже используется в современной теории поля. Можно сказать, что пока ещё эти духи не материализованы, т. е. не наблюдаются на опыте. Но и наука о фундаментальных полях пока ещё не завершена.

В новый портфель

Конечность распространения фундаментальных полей и их связь с энергией и импульсом (перенос энергии и импульса этими полями) приводят к признанию этих полей в качестве одной из составляющих материи. Материя, таким образом, представлена частицами (веществом) и фундаментальными полями.



- ▷ Какой смысл понятий «фундаментальные поля» и «фундаментальные взаимодействия»?
- ▷ Приведите примеры полей, не являющихся фундаментальными.
- ▷ Приведите примеры нефундаментальных взаимодействий.

20 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЛЯ И ВЕЩЕСТВА.

ЦВЕТ И СПЕКТРЫ

59

Урок-лекция

У этой, по крайней мере, лица не вовсе бессмысленное...
Правда, умом оно не блещет, но что поделаешь!
Зато цвет у неё какой надо, а это уже кое-что!

Л. Кэрролл

?

Как взаимодействуют поле и вещество? Чем определяется цвет веществ? Какой величиной характеризуется энергия волны? Что такое спектры веществ? Какие бывают спектры? Что даёт исследование спектров веществ? Что такое тепловое излучение? Что такое абсолютно чёрное тело? Какими особенностями обладают спектры теплового излучения?

Спектр • **Абсолютно чёрное тело** • **Спектр линейчатый** •
Спектр сплошной • **Интенсивность излучения** • **Тепловое излучение**

Ключевые
слова

Оптические спектры. Электромагнитные волны. Длина волны (Физика, 7—9 кл.).

Из старого
портфеля

Две составляющие материи — поле и вещество — существуют в тесной взаимосвязи друг с другом. С одной стороны, вещество является источником поля, с другой — поле воздействует на вещество с некоторой силой. В этом параграфе мы рассмотрим такие специфические особенности взаимодействия поля и вещества, как цвет и спектры.

ЦВЕТ ВЕЩЕСТВА. Одним из первых научных опытов по исследованию цвета и спектров был опыт И. Ньютона, в котором учёный пропустил солнечный свет через призму и получил **спектр** солнечного излучения (рис. 17).

Впоследствии выяснилось, что каждой узкой полоске этого спектра соответствует волна определённой длины (значения длин волн также изображены на рисунке). Таким образом, зрительное ощущение цвета связано с тем, что глаз по-разному реагирует на электромагнитные волны разной длины. Это объясняется устройством рецепторов сетчатки глаза человека.

Почему то или иное вещество имеет определённый цвет?

Вещество и поле обладают таким общим качеством, как энергия. В процессе взаимодействия поля волны с веществом (точнее, с заряженными частицами, составляющими вещество) поле может отдать энергию веществу. В этом случае

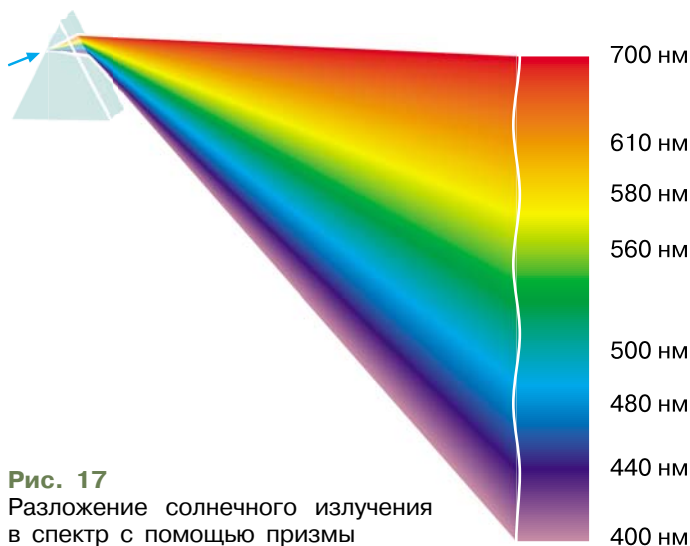
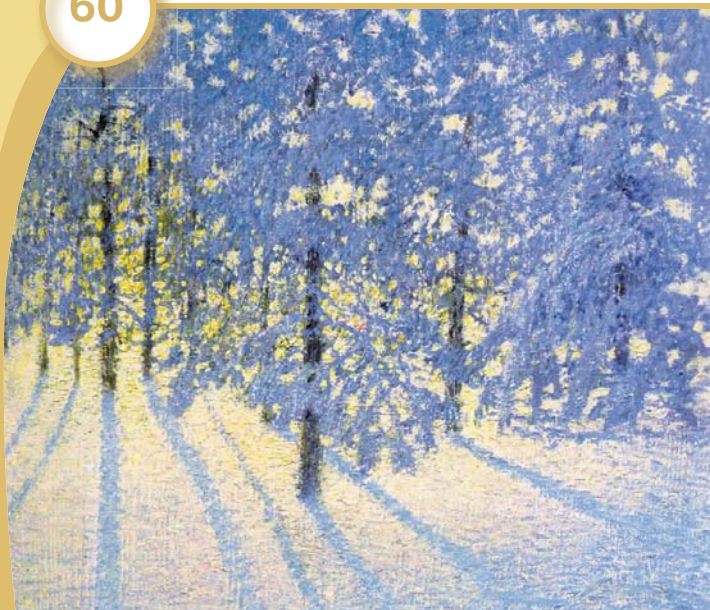


Рис. 17

Разложение солнечного излучения в спектр с помощью призмы



Игорь Грабарь. Зимний день

Быть может, вся Природа — мозаика цветов?
 Быть может, вся Природа — различье голосов?
 Быть может, вся Природа — лишь числа и черты?
 Быть может, вся Природа — желанье красоты?

К. Бальмонт

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

нитной волны. Например, газовая горелка излучает синий свет. Синий цвет обусловлен тем, что вещество в момент горения излучает преимущественно свет, соответствующий длине волны синего цвета.

В НОВЫЙ портфель

Цвет является характеристикой вещества и процесса взаимодействия поля с веществом. Цвет отражённого от вещества и прошедшего через вещество света определяется способностью вещества по-разному поглощать свет различных длин волн. Цвет вещества, излучающего свет без воздействия внешнего поля, определяется способностью этого вещества излучать электромагнитные волны того или иного диапазона.

СПЕКТРЫ ВЕЩЕСТВ. Более детальную информацию о взаимодействии излучения и вещества дают спектры веществ. В простейшем опыте спектр излучения вещества можно получить, пропуская это излучение (свет) через призму, как это сделал Ньютон. При этом разные вещества имеют различные спектры. Например, спектр излучения паров натрия представляет собой узкие линии и совсем не похож на спектр излучения Солнца (рис. 18). Подобные спектры, состоящие из отдельных линий, называют **линейчатыми** в отличие от спектров типа спектра Солнца, которые называют **сплошными**.

Но если Солнце излучает свет разных длин волн, то почему мы видим его жёлтым? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо произвести определённые измерения. Как было сказано в начале параграфа, измерять нужно некоторую энергетическую характеристику волны. Такой характеристикой является **интенсивность излучения**.

происходит *поглощение* энергии электромагнитной волны. Противоположный процесс, когда вещество отдаёт энергию полю, называют *излучением*. Наконец, вещество может взаимодействовать с электромагнитной волной, изменяя её, но не обмениваясь с ней энергией. К таким процессам относят *отражение* и *преломление* волны.

Цвет вещества зависит от того, какие процессы взаимодействия вещества и поля имеют место. Рассмотрим в качестве примера зелёный цвет листа растения. В темноте цвет листа не виден. Мы можем наблюдать свет, отражённый от листа растения, или свет, прошедший через лист (в обоих случаях зелёный). Цвет в этих случаях определяется тем, что вещество листа поглощает свет всех длин волн, кроме волны, соответствующей зелёному цвету. Белое тело абсолютно одинаково хорошо отражает все волны, ничего не поглощая. Напротив, **абсолютно чёрное тело** совершенно не отражает волны, поглощая всё излучение. Некоторые вещества, например сажа, близки по свойствам к абсолютно чёрному телу.

Противоположный случай имеет место, когда вещество излучает свет без воздействия внешней электромаг-

На рисунке 19 приведена зависимость интенсивности солнечного излучения от длины волны. Именно такую зависимость на научном языке и называют спектром. Иногда на графиках приводится зависимость интенсивности от частоты волны. Такую зависимость также называют спектром.

Из показанного на рисунке 19 спектра излучения Солнца понятно, почему Солнце жёлтого цвета: максимум интенсивности солнечного излучения приходится на волны, соответствующие жёлтому цвету. Энергетический спектр натрия представляет собой одинокие узкие пики; при использовании хорошего прибора жёлтый пик выглядит раздвоенным.

Спектры различных веществ различаются между собой и позволяют настолько же точно идентифицировать вещество (смесь веществ), как отпечатки пальцев позволяют идентифицировать человека.

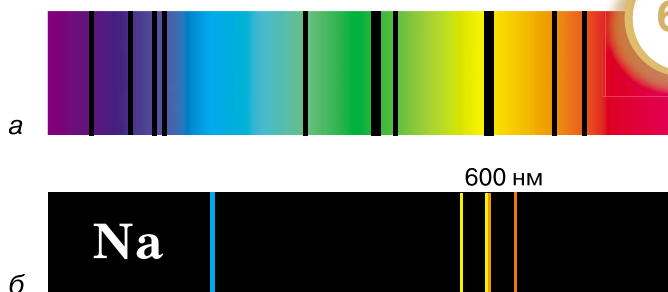


Рис. 18

Спектры излучения Солнца (а) и паров натрия (б)

Интенсивностью называют энергию, переносимую электромагнитной волной через единицу площади в единицу времени. Спектром называют зависимость интенсивности света от длины волны или частоты света.

В новый
портфель

СПЕКТРЫ ТЕПЛООВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ. Чтобы излучать электромагнитные волны, заряженные частицы должны обладать определённым запасом энергии. Эта энергия может быть получена частицами в результате различных процессов. В том случае, когда вещество находится вблизи состояния термодинамического равновесия, энергия частиц — это энергия теплового (хаотического) движения. Излучение такого вещества называют **тепловым излучением**.

Тепловое излучение характерно для любого нагретого тела. Наиболее просто выглядит спектр излучения абсолютно чёрного тела (см. рис. 19). Его интенсивность увеличивается с увеличением температуры. Длина волны в максимуме излучения при увеличении температуры сдвигается в сторону более коротких длин волн. Спектр излучения звёзд похож на спектр излучения абсолютно чёрного тела. Отсюда, в частности, следует, что голубые звёзды имеют более высокую температуру, чем жёлтые.

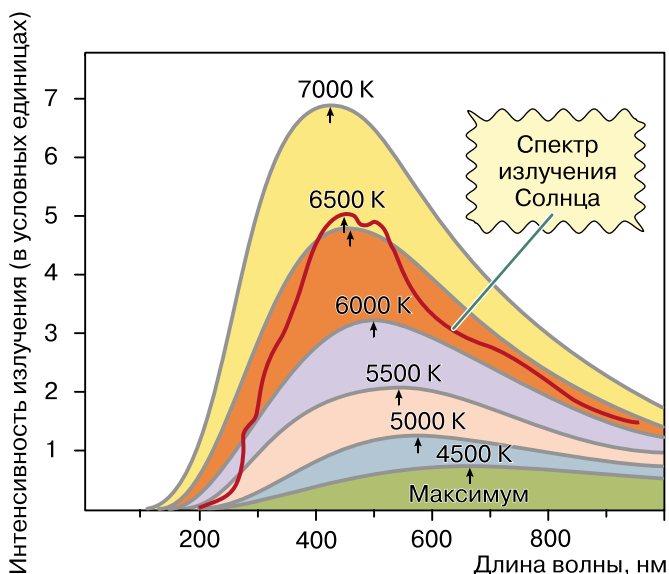


Рис. 19

Распределение энергии в спектрах излучения абсолютно чёрного тела (при разных температурах) и Солнца

Тепловое излучение веществ зависит от их температуры. Спектр излучения плотных тел близок к спектру излучения абсолютно чёрного тела. Длина волны, соответствующей максимуму интенсивности излучения, позволяет определить температуру излучающего тела.

В новый
портфель

- ▷ Чем определяется цвет тела?
- ▷ Что такое спектры?
- ▷ Какие виды спектров вы знаете?
- ▷ В чём практическое значение исследования спектров веществ?

21 ДИСКРЕТНОСТЬ И НЕПРЕРЫВНОСТЬ: ЭКСПЕРИМЕНТ

Урок-практикум

И опыт — сын ошибок трудных...
А. С. Пушкин

?

Как на опыте доказать волновой характер света? Какая идея лежит в основе эксперимента по измерению заряда электрона?

Из старого портфеля

Элементы геометрической оптики. Свет — электромагнитная волна. Электризация тел. Электрическое поле. Действие электрического поля на электрические заряды (Физика, 7—9 кл.).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Провести эксперимент, доказывающий волновую природу света. Проанализировать метод, использованный Милликеном при измерении заряда электрона.

Оборудование: лазерная указка (для краткости мы будем её называть просто лазером), лист плотной бумаги, ножницы, затемнённое помещение и экран.

ПЛАН РАБОТЫ. Последовательно выполняя задания эксперимента с лазером, выявить непрерывный характер света. Выполняя задания, понять идею опыта Милликена.

1. Вырежьте в бумаге щель, как показано на рисунке 20. Длина щели должна быть 4—5 см, ширина у края листа — около 1 мм. Пропускайте луч лазера через широкую часть щели, затем медленно смещайте луч к узкой части и наблюдайте изображение на экране. Вначале вы увидите на экране яркую полосу, перпендикулярную щели, со светлым пятном в середине, затем вы заметите, что полоска разделится на несколько светящихся элементов, расстояние между которыми будет увеличиваться.



Рис. 20

Приспособление для проведения эксперимента

Подобное изображение называют *дифракционной картиной*, а само явление образования тёмных и светлых областей при прохождении света через щель — *дифракцией*. Ответьте на вопрос: можно ли объяснить это явление законами геометрической оптики и гипотезой, согласно которой свет представляет собой поток частичек, движущихся по законам механики? Каким было бы изображение, если бы свет не обладал волновыми свойствами, а

его свойства полностью описывались бы законами геометрической оптики? Попробуйте нарисовать соответствующую картину.

Перейдём теперь к описанию опыта Миллика. Сложность измерения заряда электрона заключается в том, что значение этого заряда очень мало. Чтобы измерить заряд электрона, нужны мельчайшие тела, и Милликен решил использовать для этого микроскопические капли жидкости, движение которых можно наблюдать лишь в микроскоп.

Если поместить такую каплю между пластинами заряженного конденсатора, на неё будет действовать электрическая сила, пропорциональная заряду. Поскольку капля находится в воздушной среде, на неё также действует сила сопротивления воздуха, которая пропорциональна и противоположно направлена скорости капли. В результате взаимной компенсации этих сил капля будет двигаться с постоянной скоростью. Заряд капли на опыте можно изменять, воздействуя на неё рентгеновским излучением.



Стоунхендж. Великобритания

Род приходит, и род уходит,
а Земля пребывает вовеки.
Всходит Солнце, и заходит Солнце,
и спешит к месту, откуда оно возшло.

Екклезиаст

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

2. Проанализируйте силы, действующие на каплю, и нарисуйте примерный график зависимости её скорости от значения заряда.

ПОДСКАЗКА

Запишите второй закон Ньютона и приравняйте ускорение нулю (равномерное движение). Вы получите, что скорость капли линейно зависит от её заряда, т. е. соответствующий график является прямой линией.

3. Нарисуйте подобный график при условии, что заряд может изменяться дискретно, т. е. порциями.

ПОДСКАЗКА

Идея опыта Миллика заключалась в том, чтобы на основе измерения дискретного приращения скорости капель вычислить минимальную порцию электрического заряда, вызывающего изменение скорости.

Дополнительные источники информации

1. Башлачёв Ю. А. Фундаментальные эксперименты физики: курс лекций / Ю. А. Башлачёв, Д. Л. Богданов. — М.: Ленанд, 2012.
2. Бутиков Е. И. Физика. В 3 т. / Е. И. Бутиков, А. С. Кондратьев. — М.: Физматлит, 2008.
3. Физика: 7—9 кл.: мультимедийное учеб. пособие нового поколения. — М.: Просвещение-Медиа, 2004.

Слова для поискового запроса: дифракция света на щели, опыт Миллика.

Свойства света, в частности явление дифракции, невозможно объяснить на основе представления о свете как потоке частиц, движущихся по законам механики. Свет имеет волновую природу, и соответствующая волна непрерывно заполняет некоторую область пространства.

Опыт Миллика по исследованию движения частиц мельчайших капель жидкости позволил доказать гипотезу о дискретности заряда и вычислить на основе экспериментальных данных заряд электрона.

**В новый
портфель**

22 КВАНТОВЫЕ (КОРПУСКУЛЯРНЫЕ) СВОЙСТВА ПОЛЕЙ

Урок-лекция

От малых причин бывают великие последствия:
так, отгрызение заусенца причинило моему знакомому рак.
Козьма Прутков

?

Какие опытные данные привели к гипотезе о дискретных свойствах поля? Что такое квант электромагнитного излучения? Какие параметры характеризуют фотон как волну и как частицу? В чём заключаются корпускулярные свойства электромагнитного поля?

Ключевые
слова

Квантовая теория • Квант • Постоянная Планка •
Красная граница фотоэффекта • Работа выхода • Фотон

Из старого
портфеля

Оптические спектры. Импульс. Кинетическая энергия (Физика, 7—9 кл.).

К концу XIX в. сложилось представление о том, что наш мир состоит из частиц и фундаментальных полей — двух составляющих материи. Оставались лишь малые «недоработки», для преодоления которых нужно было приложить некоторые усилия.

Однако из этих малых «недоработок» на рубеже XIX—XX вв. в физике возникла новая, революционная теория, которая кардинальным образом изменила представления о частицах и полях, т. е. о материи. Новая теория, основанная на экспериментальных фактах, за которой впоследствии закрепилось название **квантовой теории**, стала описывать частицы и поля единым образом. В соответствии с её основными положениями поля, которые ранее рассматривались как непрерывные объекты, приобретали дискретные свойства — свойства частиц. И наоборот, частицы (вещество), для которых ранее применялось дискретное описание, приобретали непрерывные свойства — свойства полей или волн.

ГИПОТЕЗА КВАНТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ. Начало новой теории было положено теоретической моделью, описывающей излучение абсолютно чёрного тела. То, что абсолютно чёрное тело должно одинаково хорошо поглощать все электромагнитные волны, означало, что в движении заряженных частиц не должно быть какой-то закономерности. Оно должно быть хаотическим, подобно движению частиц молекулярного газа. Такое движение практически происходит на звёздах, именно поэтому спектр звёзд близок к спектру излучения абсолютно чёрного тела.

Теория излучения абсолютно чёрного тела была построена Джоном Рэлеем и Джеймсом Джинсом. Однако, хорошо согласуясь с экспериментом в области больших длин волн, эта теория совершенно неудовлетворительно описывала излучение в области коротких длин волн. В то время как экспериментальная кривая при малых длинах волн шла к нулю, теоретическая кривая устремлялась к бесконечности (рис. 21).

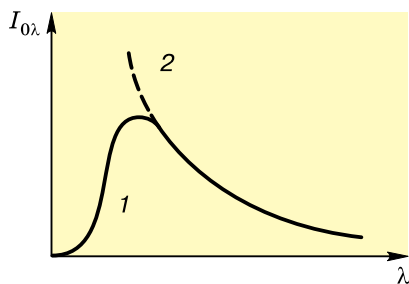


Рис. 21

Экспериментальный спектр излучения абсолютно чёрного тела (1) и кривая, соответствующая теории Рэля—Джинса (2)

Рассогласование теории и эксперимента было названо «ультрафиолетовой катастрофой» (ультрафиолетовое излучение — это коротковолновое излучение).

Построить теорию, согласующуюся с экспериментом, удалось в 1900 г. Макс Планк на основе предположения о том, что электромагнитные волны излучаются и поглощаются не непрерывно, а порциями — **квантами**. Причём энергия кванта пропорциональна частоте волны: $E = h\nu$. Значение коэффициента пропорциональности h Планк получил, подгоняя теоретический спектр под экспериментальные данные. Гипотеза передачи энергии квантами была смелым предположением, поскольку никакие опытные данные, полученные к тому времени, не давали оснований для подобного предположения. Несмотря на неудовлетворённость результатом, Планк получил новую, фундаментальную константу, которая впоследствии была названа его именем, — **постоянную Планка**. Значение этой постоянной $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ Дж · с по порядку величины соответствует масштабам микромира.

Теория излучения абсолютно чёрного тела, разработанная М. Планком, впервые включала положение о корпускулярных свойствах поля.

**В новый
портфель**

ФОТОЭФФЕКТ. ФОТОНЫ КАК ЧАСТИЦЫ ПОЛЯ. Следующий шаг в развитии квантовой теории связан с объяснением особенностей фотоэффекта. Схема наблюдения фотоэффекта проиллюстрирована на рисунке 22.

Между анодом и катодом прикладывается некоторое напряжение. В отсутствие света ток практически отсутствует, поскольку в вакууме нет свободных заряженных частиц, способных, передвигаясь между катодом и анодом, создавать электрический ток. Пучок света, попадая на катод, выбивает из него электроны, вследствие чего возникает ток.

Какие особенности фотоэффекта можно было бы ожидать на основе классических представлений о свойствах поля? Энергия света, падающего на катод, пропорциональна интенсивности электромагнитной волны. Энергия выбитых электронов пропорциональна числу электронов и энергии (кинетической) одного электрона, т. е. с увеличением интенсивности света должно увеличиваться число выбитых электронов и, следовательно, сила электрического тока, а также кинетическая энергия электронов. При заданной интенсивности эти величины не должны зависеть от частоты электромагнитной волны.

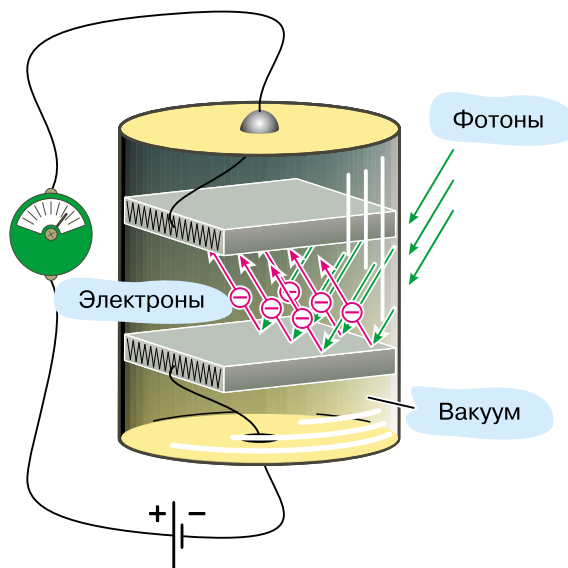


Рис. 22
Схема наблюдения явления фотоэффекта

Явление фотоэффекта заключается в том, что под действием света из металла вылетают свободные электроны.

**В новый
портфель**

Результаты эксперимента оказались несколько иными. Сила тока действительно увеличивалась с увеличением интенсивности. Что касается кинетической энергии электронов, то она оказалась зависящей не от интенсивности света, а от его частоты. Эти величины оказались связанными линейной зависимостью (рис. 23), причём при уменьшении

частоты света ниже некоторой критической ($\nu_{\text{кр}}$) фотоэффект пропадал. Эта критическая частота была названа **красной границей фотоэффекта** (она действительно соответствовала красному свету).

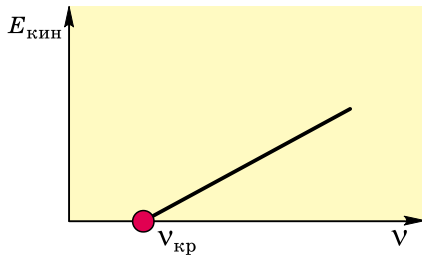


Рис. 23

Зависимость кинетической энергии выбитых с катода электронов от частоты света

Объяснить фотоэффект на основе классической теории взаимодействия света и вещества оказалось невозможно, но из графика, изображённого на рисунке 23, явно следовала линейная зависимость между энергией и частотой света (как и в формуле Планка). Явление фотоэффекта в 1905 г. объяснил А. Эйнштейн, взяв за основу гипотезу Планка. Если предположить, что один квант света приводит к вылету одного электрона, закон сохранения энергии можно записать в виде $h\nu = E_{\text{кин}} + A_{\text{вых}}$.

Эта формула соответствует линейной зависимости, изображённой на рисунке 23. Константа $A_{\text{вых}}$, названная **работой выхода**, — это минимальная работа, которую необходимо совершить для того, что-

бы выбить электрон из металла. Естественным образом объяснялось существование красной границы фотоэффекта. Она соответствовала нулевой кинетической энергии выбитого электрона: $h\nu_{\text{кр}} = A_{\text{вых}}$.

Эйнштейн пошёл ещё дальше в осмыслении понятия кванта: он ввёл понятие о частице излучения (частице электромагнитного поля), которую впоследствии называли **фотоном**. Как и все другие частицы, фотон способен перемещаться в пространстве. Скорость перемещения фотона, естественно, совпадает со скоростью света. Энергия этой частицы определяется формулой Планка. Масса фотона в соответствии с теорией относительности Эйнштейна должна быть равна нулю, а его импульс связан с частотой соотношением $p = h\nu/c$. Учитывая связь между длиной волны и частотой, выражение для импульса можно записать в виде $p = h/\lambda$.

В новый портфель

Фотон является одновременно и электромагнитной волной, и частицей электромагнитного поля. Как волна фотон характеризуется частотой ν . Как частица фотон характеризуется тем, что имеет нулевую массу, всегда движется со скоростью света, имеет энергию, равную $h\nu$, и импульс, равный h/λ .

Современные представления о полях полностью подтверждают положения, выдвинутые Планком и Эйнштейном. При этом частицы, соответствующие полям, — кванты полей — имеются не только у электромагнитного поля, но и у других фундаментальных полей. Понятие «квант», таким образом, стало общим понятием для различных полей, а понятие «фотон» закрепилось за квантом электромагнитного поля.

В новый портфель

По современным представлениям любое реальное электромагнитное поле можно представить как совокупность фотонов. При этом классическое описание поля сохраняет свою силу только при большом количестве фотонов, участвующих в рассматриваемом процессе.

??

- ▷ В чём заключаются дискретные свойства электромагнитного поля? Что такое фотон — волна или частица?
- ▷ От самых ярких звёзд на 1 м^2 поверхности Земли в 1 с приходит примерно 10 млрд фотонов. Сколько фотонов попадает в объектив телескопа диаметром 10 м за 1 с от звезды, у которой интенсивность падающего на Землю света в 10 млрд раз меньше?

23 ВОЛНОВЫЕ (ПОЛЕВЫЕ) СВОЙСТВА ЧАСТИЦ

67

Урок-лекция

Вы, конечно, можете называть это чушью, но я-то встречала чушь такую, что в сравнении с ней эта кажется толковым словарём.

Л. Кэрролл

?

Что такое планетарная модель атома и в чём её недостаток? В чём суть модели атома Бора? В чём заключается гипотеза о волновых свойствах частиц? Какие предсказания даёт эта гипотеза о свойствах микромира?

Планетарная модель атома • **Уровни энергии**
(энергетические уровни) • **Вероятность**

Ключевые слова

Опыты Резерфорда. Планетарная модель атома. Оптические спектры. Поглощение и испускание света атомами. Механические колебания и волны. Звук (Физика, 7—9 кл.). Атомы и молекулы. Общее представление о строении атомов: ядро (протоны и нейтроны) и электроны (Химия, 7—9 кл.).

Из старого портфеля

КЛАССИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АТОМА И ИХ НЕДОСТАТКИ. Идеи о том, что атомы не являются неделимыми частицами и содержат в качестве составляющих частиц элементарные заряды, впервые были высказаны в конце XIX в. Термин «электрон» предложил в 1881 г. английский физик Джордж Стоней. В 1897 г. электронная гипотеза получила экспериментальное подтверждение в исследованиях Эмиля Вихерта и Джозефа Джона Томсона. С этого момента началось создание разнообразных электронных моделей атомов и молекул.

Согласно модели Томсона положительный заряд равномерно рассредоточен по всему атому, а в него, подобно изюму в булочке, вкраплены электроны.

Неточность этой модели стала ясна после проведения в 1906 г. опыта Эрнестом Резерфордом, который исследовал процесс рассеяния α -частиц атомами. По результатам опыта был сделан вывод, что положительный заряд сосредоточен внутри образования, существенно меньшего, чем размеры атома. Это образование назвали атомным ядром. Размеры атомного ядра составляли 10^{-15} — 10^{-14} м, а размеры атома — 10^{-10} м. В соответствии с классическими представлениями электромагнетизма между каждым электроном и ядром должна действовать кулоновская сила притяжения. Зависимость этой силы от расстояния должна быть такой же, как и в законе всемирного тяготения. Следовательно, движение электронов в атоме должно быть подобно движению планет Солнечной системы. Так появилась **планетарная модель атома Резерфорда**.

Дальнейшее исследование устойчивости атома дало ошеломляющий результат: расчёты показали, что за время 10^{-9} с электрон должен упасть на ядро вследствие потери



Василий Кандинский.
Несколько кругов

Быть может, эти электроны

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

В. Брюсов

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

энергии на излучение. Кроме того, такая модель давала непрерывные, а не дискретные спектры излучения атомов.

В новый портфель

Малое время жизни атома и непрерывный спектр излучения, следующие из планетарной модели, показывали её несостоятельность при описании движения электронов в атоме.

ТЕОРИЯ АТОМА БОРА. Следующий шаг в разработке теории атома был сделан Нильсом Бором. Важнейшей гипотезой, выдвинутой Бором в 1913 г., явилась гипотеза о дискретном строении энергетических уровней электрона в атоме. Это положение проиллюстрировано на энергетических диаграммах (рис. 24). (Традиционно на энергетических диаграммах энергия откладывается по вертикальной оси.)

Отличие движения тела в гравитационном поле Земли (рис. 24, а) от движения электрона в атоме (рис. 24, б) в соответствии с гипотезой Бора состоит в том, что энергия тела может непрерывно изменяться, а энергия электрона при отрицательных значениях может принимать ряд дискретных значений, изображённых на рисунке отрезками голубого цвета. Эти дискретные значения были названы **уровнями энергии** или, иначе, **энергетическими уровнями**.

Конечно же, идея дискретных уровней энергии была взята из гипотезы Планка. Изменение энергии электрона в соответствии с теорией Бора могло происходить только скачком (с одного уровня энергии на другой). При этих переходах излучается (переход вниз) или поглощается (переход вверх) квант света, частота которого определяется из формулы Планка $h\nu = E_{\text{кванта}} = \Delta E_{\text{атома}}$, т. е. изменение энергии атома пропорционально частоте излучённого или поглощённого кванта света.

Теория Бора прекрасно объясняла линейчатый характер атомных спектров. Однако на вопрос о причине дискретности уровней теория фактически не давала ответа.

В новый портфель

Теория Бора была важным шагом в понимании законов микромира. В ней впервые было введено положение о дискретных значениях энергии электрона в атоме, что соответствовало опыту и впоследствии вошло в квантовую теорию.

ВОЛНЫ ДЕ БРОЙЛЯ. Следующий шаг в развитии теории микромира был сделан Луи де Бройлем. В 1924 г. он высказал предположение о том, что движение микрочастиц нужно описывать не как классическое механическое движение, а как некоторое волновое движение. Именно из законов волнового движения должны быть получены способы вычисления различных наблюдаемых величин. Так в науке наряду с волнами электромагнитного поля появились волны вещества.

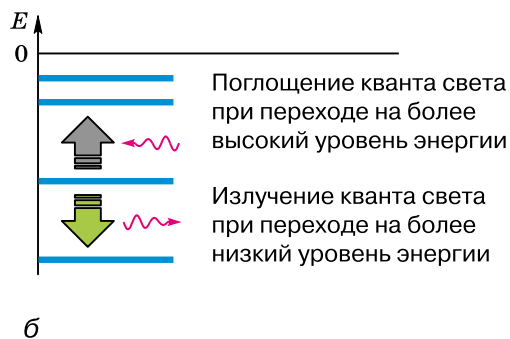
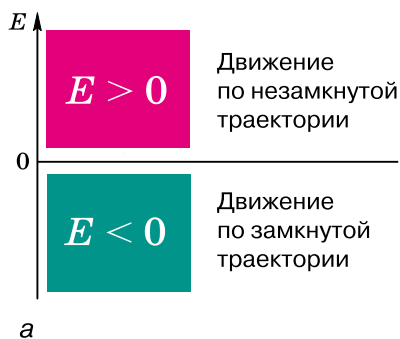


Рис. 24

Энергия космического аппарата в поле тяготения Земли (а) и энергия электрона в атоме (б)

Гипотеза о волновом характере движения частиц была такой же смелой, как и гипотеза Планка о дискретных свойствах поля. Эксперимент, прямо подтверждающий гипотезу де Бройля, был поставлен только в 1927 г. В этом эксперименте наблюдалась дифракция электронов на кристалле, подобно дифракции электромагнитной волны.

Гипотеза о волновых свойствах частиц позволяла объяснить дискретную природу энергетических уровней. Из теории волн было известно, что ограниченная в пространстве волна всегда имеет дискретные частоты. Примером является волна в таком музыкальном инструменте, как флейта. Частота звучания в этом случае определяется размерами пространства, которыми ограничена волна (размерами флейты). Оказалось, что это общее свойство волн.

Но в соответствии с гипотезой Планка частоты кванта электромагнитной волны пропорциональны энергии кванта. Следовательно, и энергия электрона должна принимать дискретные значения.

Идея де Бройля оказалась очень плодотворной, хотя, как уже говорилось, прямой эксперимент, подтверждающий волновые свойства электрона, был проведён лишь в 1927 г. В 1926 г. Эрвин Шрёдингер вывел уравнение, которому должна подчиняться волна электрона, и, решив это уравнение применительно к атому водорода, получил все результаты, которые была способна дать теория Бора. Фактически это было началом современной теории, описывающей процессы в микромире, поскольку волновое уравнение легко обобщалось для самых разных систем — многоэлектронных атомов, молекул, кристаллов.

Развитие теории привело к пониманию того, что волна, соответствующая частице, определяет вероятность нахождения частицы в данной точке пространства. Так в физику микромира вошло понятие **вероятность**.

В отличие от модели атома водорода по Бору, где энергетическому уровню соответствовала некоторая орбита, по которой двигался электрон, в теории Шрёдингера такому уровню соответствовала некоторая волновая функция, называемая *атомной орбиталью*.

Согласно новой теории волна, соответствующая частице, полностью определяет движение частицы. Но общие свойства волн таковы, что волна не может быть локализована в какой-либо точке пространства, т. е. бессмысленно говорить о координатах частицы в данный момент времени. Следствием этого явилось полное исключение из физики микромира таких понятий, как траектория движения частицы и электронные орбиты в атоме. Красивая и наглядная планетарная модель атома, как оказалось, не соответствует реальному движению электронов.

В заключение вернёмся к эпиграфу. Гипотезы о волнах вещества и квантах поля казались чушью многим физикам, воспитанным на традициях классической физики. Дело в том, что эти гипотезы лишены привычной наглядности, которую мы имеем, проводя наблюдения в макром мире. Однако последующее развитие науки о микромире привело к таким представлениям, что... (см. эпиграф к параграфу).

??

- ▷ Каким опытным фактам противоречила модель атома Томсона?
- ▷ Что из модели атома Бора осталось в современной теории и что было исключено?
- ▷ Какие идеи способствовали выдвижению де Бройлем гипотезы о волнах вещества?

24 КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВОЙ ДУАЛИЗМ

Урок-практикум

...И тогда
Ты сказала в ответ
И не то чтобы «да»,
И не то чтобы «нет».
Популярная песня 70-х гг. XX в.

?

При каких условиях проявляются волновые свойства частиц вещества и частиц поля? При каких условиях проявляются корпускулярные свойства частиц вещества и частиц поля?

Из старого портфеля

Свет — электромагнитная волна (Физика, 8 кл.).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Интерпретируя предлагаемые мысленные эксперименты, понять, что такое корпускулярно-волновой дуализм.

ПЛАН РАБОТЫ. Последовательно выполнить задания с предлагаемыми мысленными экспериментами. После выполнения всех заданий сделать окончательные выводы.

Что же такое фотон — волна или частица? И что такое электрон — частица или волна? Во многих учебниках и справочниках можно прочитать, что в одних экспериментах фотон и электрон проявляют свойства частиц, а в других — свойства волн. Это общее свойство объектов микромира называют *корпускулярно-волновым дуализмом*.

Волновые свойства света проявляются в таких явлениях, как дифракция и интерференция.

1. Рассмотрите дифракцию света на щели. Будем считать, что ширина щели (рис. 25, а) равна 1 мкм. Мысленно увеличивайте ширину щели. Чёткость дифракционной картины постепенно будет пропадать (рис. 25, б, в), и при ширине щели 0,1 мм на экране будет видна светлая полоска, соответствующая прямолинейному распространению света (рис. 25, г). При уменьшении же ширины щели чёткость дифракционной картины не ухудшается. Сформулируйте правило, при каких соотношениях между шириной щели и длиной волны наблюдается дифракция.

ПОДСКАЗКА

Длина волны видимого света приблизительно от 0,3 до 0,7 мкм.

2. Используя метод индукции, обобщите результаты мысленного эксперимента и сформулируйте, при каких условиях объекты микромира (электроны и фотоны) проявляют волновые свойства.

ПОДСКАЗКА

Ключевым должно быть словосочетание «...движение, ограниченное областью пространства с размерами...».

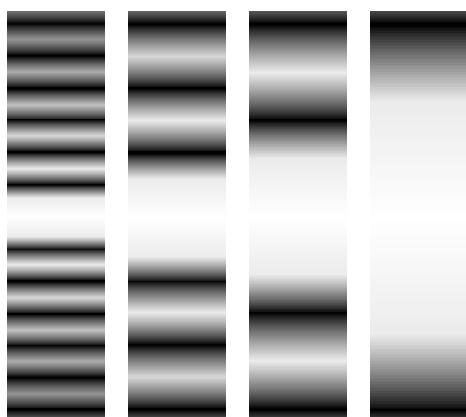


Рис. 25

Дифракция света при различной ширине щели

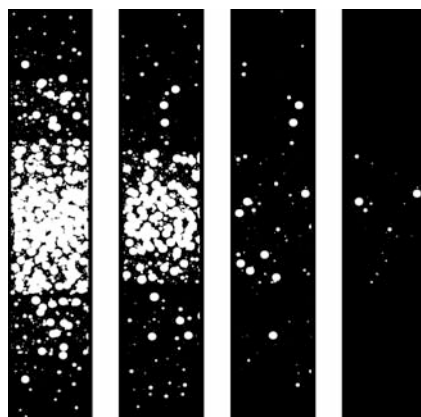


Рис. 26

Последовательность фотографий при уменьшении экспозиции и интенсивности света

3. Продолжите мысленный эксперимент по наблюдению дифракции света на щели. «Фотографируйте» интерференционную картину, постепенно уменьшая экспозицию (время, в течение которого открыт затвор фотоаппарата) и интенсивность светового пучка (рис. 26). Изображение вначале будет становиться зернистым, затем полосы разобьются на отдельные точки, число которых будет постепенно уменьшаться. Сформулируйте гипотезу, объясняющую этот эксперимент.

ПОДСКАЗКА

Процесс получения фотографии состоит в следующем. Каждый фотон, попадающий на фотоплёнку, реагирует с одной молекулой галогенида серебра (AgCl , AgBr или AgI), восстанавливая металлическое серебро. При проявлении плёнки вокруг такого атома серебра образуется ещё некоторое количество атомов серебра и видимая точка. Из этих точек и складывается фотографическое изображение. На рисунке 26 приведена компьютерная анимация, где рисунки а, б, в, г соответствуют 10 000, 1000, 100 и 10 фотонам, прошедшим через щель. Подобный мысленный эксперимент с электронами даёт качественно похожую картину. Очевидно, что в данных экспериментах проявляются дискретные (корпускулярные) свойства как электромагнитного поля, так и электронов.

Как частицы вещества (электроны), так и частицы электромагнитного поля (фотоны) обладают волновыми и корпускулярными свойствами.

Волновые свойства проявляются при движении частиц, если движение в каком-то месте пространства ограничено областью с размерами, сравнимыми с длиной волны или меньшими длины волны.

Корпускулярные свойства проявляются при взаимодействии частиц (например, электронов с фотонами или электронов с электронами), если число частиц, участвующих во взаимодействии, мало.

В новый
портфель

Отыщи всему начало, и ты многое поймёшь.
Козьма Прутков

?

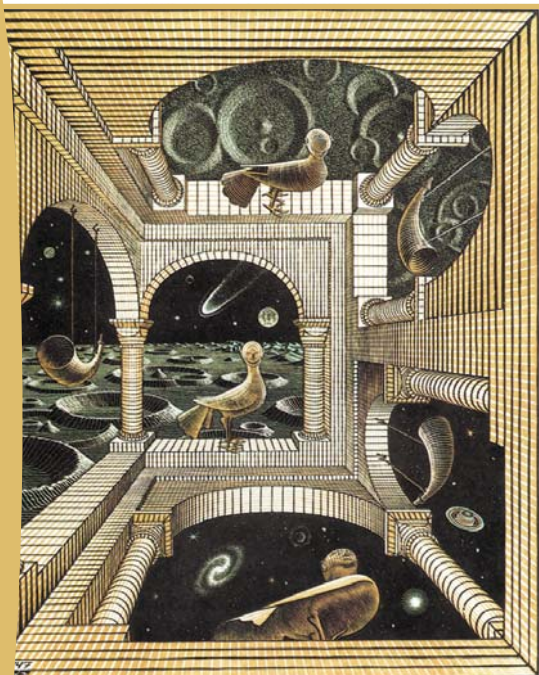
Что такое сильное взаимодействие и каковы его свойства? Что такое слабое взаимодействие и каковы его свойства? Какую роль играют фундаментальные взаимодействия в существовании жизни?

Ключевые
слова

Сильное взаимодействие • **Короткодействующее взаимодействие** • **Адроны** • **Лептоны** • **Нейтрино** • **Слабое взаимодействие**

Из старого
портфеля

Радиоактивность. α -, β - и γ -излучения. Опыты Резерфорда. Состав атомного ядра. Ядерные реакции. Источники энергии Солнца и звёзд (Физика, 7—9 кл.). Сохранение массы вещества при химических реакциях (Химия, 7—9 кл.).



Мауриц Корнелис Эшер. Другой мир II

Поиск новых миров — предмет не только научного, но и художественного способа познания. Мы не можем увидеть микромир, но возможно ли его так представить?

АТОМНОЕ ЯДРО И СИЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ. Как вы знаете, начало исследованию атомного ядра положило открытие Антуаном Беккерелем в 1896 г. радиоактивности урановой руды.

Как выяснилось позднее, β -излучение представляет собой поток электронов, γ -излучение — поток фотонов с очень короткой длиной волны, а α -излучение — поток ядер атомов гелия. Именно α -излучение дало в руки экспериментаторов мощное орудие исследования атомных ядер. Разгоняя α -частицы электрическим полем до высоких энергий и бомбардируя ими атомные ядра, физики стимулировали ядерные реакции, дававшие ключ к изучению процессов, происходящих в ядрах атомов.

С помощью этого метода были открыты новые нейтральные частицы с массой, примерно равной массе протона. После этого Дмитрий Дмитриевич Иваненко и Вернер Гейзенберг предложили протон-нейтронную модель ядра. В соответствии с этой моделью ядро состоит из двух типов частиц: протонов и нейтронов. Массы этих частиц приблизительно равны, но, в отличие от положительно заряженного протона, нейтрон — частица, не имеющая заряда. Позднее обе эти частицы стали называть *нуклонами*.

Что же удерживает нуклоны в ядре и не даёт им разлететься? При таких малых расстояниях между протонами электрические силы, расталкивающие их, оказываются огромными. Что касается гравитационных сил, то простейшие оценки показывают, что для микрочастиц они настолько малы, что их можно не учитывать. В результате

возникла гипотеза о существовании нового фундаментального взаимодействия, которое называли **сильным взаимодействием**. Поскольку это взаимодействие проявляется только внутри ядра, оно должно быть **короткодействующим**, т. е., будучи значительным при расстояниях порядка размера ядра, быстро убывать при увеличении расстояния. Именно сильное взаимодействие определяет течение всех ядерных реакций.

Важной характеристикой сильного взаимодействия является то, что оно действует не между любыми частицами. Например, на электрон это взаимодействие не оказывает влияния. Частицы, которые участвуют в сильном взаимодействии, впоследствии стали называть **адронами**, а частицы, не участвующие в сильном взаимодействии, — **лептонами**.

Сильное взаимодействие обеспечивает связь нуклонов в атомном ядре. Это короткодействующее взаимодействие проявляется лишь на малых расстояниях, порядка 10^{-15} м. Энергия сильных взаимодействий выделяется, в частности, при протекании ядерных реакций.

В новый
портфель

НЕЙТРОН, НЕЙТРИНО И СЛАБЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ. Дальнейшие исследования показали, что нейтроны, живущие в ядре сколь угодно долго, без ядра могут жить очень непродолжительное время, приблизительно 1000 с. Затем нейтрон распадается, и в качестве продуктов распада наблюдают протон и электрон. Именно это превращение и ответственно за β -распад ядер: вначале нейтрон в ядре превращается в протон и электрон, а затем электрон вылетает из ядра.

Распад нейтрона оказался очень полезным для развития науки о микромире. Расчёты показывали, что при распаде нейтрона на протон и электрон не выполняется закон сохранения энергии: энергия после реакции оказывалась меньше энергии до реакции. Это следовало из определения массы нейтрона и продуктов распада и применения соотношения, связывающего массу частиц и энергию: $E = mc^2$.

Учёные настолько доверяли закону сохранения энергии, что физик Вольфганг Паули в 1931 г. высказал гипотезу о том, что в процессе распада нейтрона возникает ещё одна не регистрируемая приборами частица, которая и уносит часть энергии. Эту частицу называли **нейтрино**. Прямое опытное подтверждение существования нейтрино было получено лишь в 1957 г.

Но с каким взаимодействием связана энергия, выделяющаяся при распаде нейтрона? Ядерные реакции, как и химические реакции, обратимы. В обратной реакции протон, электрон и нейтрино должны связываться между собой. Но, как уже говорилось, электрон не участвует в сильном взаимодействии. Нейтрино же не участвует в электромагнитном взаимодействии. Из этих соображений возникла гипотеза о существовании ещё одного фундаментального взаимодействия. Поскольку энергия, высвобождающаяся при распаде нейтрона, существенно меньше, чем энергия, выделяющаяся при ядерных реакциях с участием сильного взаимодействия, новое взаимодействие называли **слабым взаимодействием**. Слабое взаимодействие настолько же универсально, как и гравитационное, в нём участвуют все частицы. Как и сильное взаимодействие, оно короткодействующее, т. е. практически исчезающее на расстояниях, больших 10^{-18} м. При тех расстояниях, на которых выполняет свою работу сильное взаимодействие внутри ядра, слабое взаимодействие очень мало. Однако при уменьшении расстояния между частицами слабое и сильное взаимодействия становятся сравнимыми по величине.

Слабое взаимодействие — универсальное взаимодействие любых частиц. Это короткодействующее взаимодействие, проявляющееся на расстояниях, меньших 10^{-18} м. Оно ответственно за превращение одних микрочастиц в другие.

В новый
портфель

ЗАЧЕМ НАМ ЭТО НУЖНО. Может показаться, что микромир — это что-то абстрактное и не связанное с нашей жизнью. Попробуем разобраться, зачем нам нужно каждое из четырёх фундаментальных взаимодействий.

О роли гравитационного взаимодействия вы, без сомнения, можете рассказать сами. Именно это взаимодействие удерживает нас на поверхности Земли, а саму Землю на орбите вокруг Солнца. Если бы оно исчезло, мы улетели бы в безжизненные просторы космоса.

Электромагнитное взаимодействие — это не только электричество и электроника, без чего невозможна жизнь современной цивилизации. Это взаимодействие было так же необходимо пещерному человеку, как и нам с вами. Именно электромагнитное взаимодействие связывает электроны и ядра в атомах, молекулах и кристаллах. Именно оно ответственно за все химические реакции, в том числе и за реакции, протекающие в живых организмах. Исчезнет оно — исчезнет жизнь.

О роли сильного взаимодействия вы узнали из курса физики. Именно оно является основой прочной связи нуклонов в ядрах. При столкновениях ядер или нуклонов сильное взаимодействие обеспечивает осуществление ядерных реакций, в том числе реакций термоядерного синтеза, происходящих в недрах звёзд. Не будь сильного взаимодействия, из всех ядер атомов остались бы только самые простейшие — ядра атома водорода, т. е. протоны. Исчезнет сильное взаимодействие — и мы превратимся в молекулярный водород.

Роль слабого взаимодействия объяснить несколько сложнее. Как уже говорилось, жизнь всем земным организмам даёт энергия Солнца, которая выделяется при ядерных реакциях в его недрах. Самая первая из цепочки таких реакций — это реакция превращения протона в нейтрон, позитрон (античастицу электрона) и нейтрино, происходящая при столкновении двух протонов. За эту реакцию как раз и отвечает слабое взаимодействие. Не будь этой реакции, горение звёзд просто прекратилось бы.

Сведения о фундаментальных взаимодействиях можно представить в виде таблицы.

Название взаимодействия	Радиус взаимодействия	Где проявляется	Характеристика взаимодействующих частиц
Гравитационное	—	Макро- и мегамир	Все частицы
Электромагнитное	—	Макромир. Микромир, атомно-молекулярный уровень	Заряженные частицы
Сильное	10^{-15} м	Микромир, уровень атомных ядер	Адроны $r \approx 10^{-15}$ м
Слабое	10^{-18} м	Микромир — взаимодействие превращение частиц	Все частицы

В новый портфель

Каждое из четырёх фундаментальных взаимодействий необходимо для существования жизни.



- ▷ Какие опытные данные привели к гипотезе о существовании сильных взаимодействий? слабых взаимодействий?
- ▷ Почему сильные и слабые взаимодействия не проявляются в макромире и мегамире?

Урок-лекция

Ответьте: существует ли в природе атом, абсолютно похожий на другой атом?

Д. Дидро

?

Каковы особенности микромира? Какова структура атомов и молекул и природа связи атомов в молекуле? Какова структура атомного ядра и природа связи нуклонов в ядре? Какие частицы в настоящее время считают фундаментальными составляющими материи?

Тожественные частицы • Элементарные частицы • Кварки •
Частицы — переносчики взаимодействий

Ключевые
слова

Состав атомного ядра. Энергия связи атомных ядер (Физика, 7—9 кл.).

Из старого
портфеля

ОСОБЕННОСТИ МИКРОМИРА. Вы, конечно, знаете, что микромир обладает своими особенностями. Попробуем кратко их сформулировать.

Первой особенностью, о которой уже говорилось, является ограниченность средств наблюдения за процессами, происходящими в микромире.

Ограниченность средств наблюдения приводит к другой важной особенности микромира — существованию **тождественных частиц**. В микромире не существует двух различающихся между собой атомов водорода или двух различных электронов. В макромире ситуация совершенно иная. Мы не сможем найти две совершенно одинаковые соны. Мы не сможем изготовить два совершенно одинаковых бильярдных шара.

Третья особенность микромира — корпускулярно-волновой дуализм. Эта особенность всё в большей степени проявляется при углублении в микромир.

Возможности исследования микромира существенно ограничены по сравнению с исследованием макромира. Все «одинаковые» объекты микромира тождественны, т. е. неразличимы между собой. Все объекты микромира обладают свойствами волн и частиц.

В новый
портфель

Макроскопическое проявление движений микрочастиц может быть разнообразным. Это движение видимых частичек пылицы в опыте по наблюдению броуновского движения. Это показание амперметра при изучении явления фотоэффекта (см. рис. 22, § 22). Это в переохлаждённом паре быстро движущаяся частица, оставляющая след в виде микроскопических капелек воды, подобно следу реактивного самолёта.

АТОМЫ И МОЛЕКУЛЫ. Мир атомов и молекул — это мир, измеряемый нанометрами. Это мир, в котором царствует электромагнитное взаимодействие, все остальные фундаментальные взаимодействия пренебрежимо малы. Как уже говорилось, атомы имеют в своём составе ядро размером 10^{-15} — 10^{-14} м и электронную оболочку размером около 10^{-10} м. Разнообразие атомов обусловлено различным зарядом их ядер. Определённый вид атомов в науке принято называть *химическим элементом*.

Несмотря на то что число электронов в различных атомах изменяется от единицы до сотни с лишним, размеры атомов различаются незначительно. Чем больше атомный номер, тем большее число электронов движется ближе к ядру.

Мир молекул более разнообразен в связи с возможностью образования полимерных молекул, содержащих сотни тысяч атомов. Расстояния между ядрами молекулы сравнимы с размерами атомов. Природа химической связи основана на том, что при сближении атомов энергетически более выгодным (имеющим меньшую энергию) становится состояние, в котором электроны уже не принадлежат отдельному атому, а движутся в поле многих ядер одновременно. На языке квантовой теории это означает, что становятся сравнимы вероятности обнаружить один и тот же электрон вблизи любого из ядер молекулы.

В новый портфель

Атомы и молекулы представляют собой структуры, образованные ядрами и электронами, связанными друг с другом электромагнитным взаимодействием. Размеры атомов и расстояния между ядрами молекулы имеют значения порядка 10^{-10} м.

ЯДРА АТОМОВ. Как уже говорилось, связь нуклонов (нейтронов и протонов) в ядре обеспечивается сильным взаимодействием. Будучи короткодействующим, это взаимодействие удерживает лишь ближайшие касающиеся друг друга нуклоны. В отличие от атома, который в основном состоит из пустоты, так как размеры ядер и электронов существенно меньше размеров атомов, нуклоны в ядре тесно прижаты друг к другу. В связи с этим энергетически выгодной оказывается сферическая форма ядра. Объем ядра приблизительно пропорционален числу нуклонов, а размер — кубическому корню из этого числа.

Сильные взаимодействия обладают важным свойством спаривать нейтроны и протоны в ядре. Поэтому наиболее стабильные ядра содержат одинаковое число нейтронов и протонов.

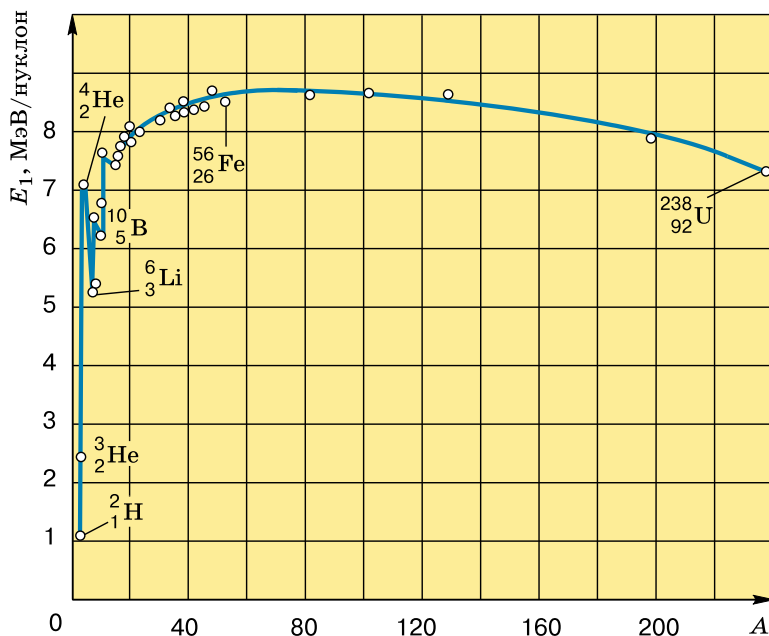


Рис. 27

Удельная энергия связи нуклонов в ядре (энергия, приходящаяся на один нуклон)

Энергия, связывающая нуклоны в ядре, увеличивается с ростом числа нуклонов, однако энергия связи, приходящаяся на один нуклон, вначале резко возрастает, а затем плавно уменьшается (рис. 27). Это приводит к тому, что ядрам с малым числом нуклонов энергетически выгоднее объединиться, а ядрам с большим числом нуклонов — распастись.

Ядра атомов представляют собой сферические структуры, имеющие размер порядка 10^{-15} — 10^{-14} м и состоящие из непрерывно движущихся нуклонов (нейтронов и протонов), связанных между собой сильным взаимодействием. Нуклоны в ядре плотно упакованы, поэтому объём ядра приблизительно пропорционален числу нуклонов.

В новый
портфель

КВАРКИ. Развитие познаний о микромире шло в непрерывном поиске некоторых элементарных «кирпичиков» вещества. Вначале такими «кирпичиками» считались атомы, затем электроны, нейтроны и протоны. Поскольку название «атом» закрепилось за частицей, которая «не оправдала доверия» («атом» по-гречески — неделимый), появился новый термин — **элементарные частицы**. Первоначально к ним отнесли электрон, протон и нейтрон. Затем, как вы знаете, появилось нейтрино.

Сталкивая различные частицы друг с другом, физики обнаружили новые короткоживущие частицы. Некоторые из этих частиц живут меньше 10^{-20} с. «Парк» элементарных частиц быстро разрастался, и к 60-м гг. XX в. их уже было больше, чем элементов в таблице Менделеева. Анализируя свойства различных адронов (заряд, спин, процессы взаимопревращений), Мюррей Гелл-Ман в 1964 г. выдвинул гипотезу о том, что все они состоят из «ещё более элементарных» частиц, которые назвал **кварками**.

В соответствии с этой гипотезой такие адроны, как протон и нейтрон, состоят из трёх кварков, другие же адроны — из двух или трёх кварков. Размеры кварков сравнимы с размером электрона. Поскольку эти размеры (порядка 10^{-18} м) много меньше размера нуклона (порядка 10^{-15} м), то можно считать, что нуклоны, подобно атому, «состоят из пустоты».

Последующие эксперименты подтвердили гипотезу Гелл-Мана, однако существенно изменили наше понимание словосочетания «состоит из». Современный опыт и теория говорят о том, что кварки не существуют в свободном состоянии. Это означает, что протон нельзя разделить на три кварка, хотя экспериментально кварки внутри протона наблюдаются.

Связаны кварки в протоне и нейтроне сильным взаимодействием. Лептоны, не участвующие в сильном взаимодействии, остались по-прежнему элементарными частицами. Таким образом, фундаментальными «кирпичиками» вещества в настоящее время считают кварки и лептоны.

Вы знаете, что все частицы вещества обладают волновыми свойствами. Одновременно фундаментальные поля, о которых говорилось в предыдущих параграфах, обладают корпускулярными свойствами. В соответствии с этим каждому фундаментальному взаимодействию может быть сопоставлена частица (или несколько частиц). Такие частицы стали называть **частицами — переносчиками взаимодействий**. С одной из таких частиц — фотоном вы уже знакомы. Эта частица переносит

Вы уже, наверное, привыкли к греческим, латинским или английским корням различных физических терминов. Так вот, слово «кварк», хотя и означает в переводе с немецкого «творог или особый сорт простокваши», никакого отношения к этим продуктам не имеет. Гелл-Ман заимствовал это слово из романа Дж. Джойса «Поминки по Финнегану», где чайки кричат: «Три кварка для мистера Марка». Так что слово «кварк» — это просто абстракция, крик чаек.

электромагнитное взаимодействие. Аналогичные частицы открыты для сильных взаимодействий (их называли глюонами) и для слабых взаимодействий (промежуточные бозоны). Имеются гипотезы, что гравитационному взаимодействию можно также сопоставить частицу гравитон. Однако теория о «кирпичиках» мироздания ещё далеко не завершена, и здесь ещё предстоит сделать много открытий.

В новый портфель

С позиции современной науки элементарными составляющими вещества являются кварки и лептоны. Кварки входят в состав адронов, в частности в состав нуклонов, и в свободном виде не существуют. Фундаментальным полям соответствуют кванты полей — частицы — переносчики взаимодействий.

??

- ▶ При химических реакциях энергия может выделяться или поглощаться. Какому фундаментальному взаимодействию соответствует эта энергия?
- ▶ Почему для исследования молекул белков биологи применяют электронный, а не обычный микроскоп?
- ▶ Почему нейтрон не может вылететь из ядра, а электрон (при β -излучении) может?

27 ЕДИНСТВО МНОГООБРАЗИЯ. МЕГАМИР

Урок-лекция

И я выхожу из пространства
В запущенный сад величин,
И мнимое рву постоянство
И самосогласье причин.
И твой, бесконечность, учебник
Листаю один, без людей —
Безлиственный, дикий лечебник, —
Задачник огромных корней.

О. Мандельштам

?

Какова иерархия объектов во Вселенной? Какая сила «правит мирами» и заставляет небесные объекты кружиться вокруг центра масс? В чём единство мегамира?

Ключевые слова

Вселенная • Галактика • Звёзды • Звёздные скопления • Планетные системы • Астероиды • Кометы • Метеороиды • Солнечный ветер

Из старого портфеля

Закон всемирного тяготения (Физика, 9 кл.). Строение Солнечной системы. Солнце. Планеты (Окружающий мир, 3—4 кл.; Естествознание, 5 кл.).

КАК УСТРОЕНА ВСЕЛЕННАЯ. Вселенная — это огромный мир, в котором мы живём. Основные структурные образования Вселенной — га-



Рис. 28

Галактика туманность Андромеды

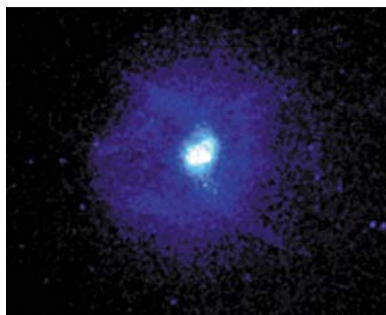


Рис. 29

Эллиптическая галактика



Рис. 30

Наша Галактика (Млечный Путь)

лактики. Это массивные звёздные системы, состоящие из сотен миллиардов звёзд и газопылевых туманностей. По внешнему виду галактики делят на несколько типов, основные из которых *спиральные* (их примерно 50 % из миллиардов наблюдаемых в космосе), *эллиптические* (их около 25 % наблюдаемых), *линзовидные* (20 %) и *неправильные* (5 %). Самые известные спиральные галактики: наша Галактика, одна из ближайших к нам — туманность Андромеды (рис. 28) (расстояние до неё примерно 2,3 млн св. лет), галактика Сомбреро в созвездии Девы. Самые близкие к нашей Галактике неправильные галактики — Большое и Малое Магеллановы Облака. На рисунке 29 изображена одна из эллиптических галактик.

В структуру нашей Галактики входят: ядро, в составе которого по современным представлениям имеются массивные чёрные дыры; диск, где находятся в основном молодые массивные яркие звёзды; газопылевые комплексы, где происходит звездообразование, а также гало и корона. В гало наблюдаются старые шаровые звёздные скопления и отдельные звёзды. Корона — это довольно массивное образование, однако её состав пока неясен. Солнце находится в плоскости диска Галактики далеко от её ядра, примерно на расстоянии $\frac{2}{3}$ радиуса.

В нашей Галактике (рис. 30) примерно двести миллиардов звёзд, её диаметр около 100 тыс. св. лет. Звёзды могут принадлежать рассеянному или шаровым звёздным скоплениям, входить в звёздные системы или оставаться одиночными. Именно у одиночных звёзд, по-видимому, могут образовываться **планетные системы**.

Наша Галактика, как и все спиральные галактики, вращается. Линейная скорость движения Солнца вокруг центра Галактики составляет примерно 250 км/с, период обращения — около 200 млн лет.

Расстояния между соседними галактиками сравнимы с их размерами. Галактики образуют скопления и сверхскопления, из которых и строится, по-видимому, ячеистая структура Вселенной (рис. 31).

СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА. Солнечная система — это система небесных тел, объединённых силами тяготения, центральной звездой которой является Солнце. Масса Солнца в 750 раз больше массы всех остальных тел Солнечной системы и составляет $2 \cdot 10^{30}$ кг. В состав Солнечной системы, кроме Солнца, входят восемь больших планет: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун; их спутники; малые тела Солнечной системы — **астероиды, кометы, метеороиды** (небольшие космические тела размерами несколько метров и меньше); **солнечный ветер** — потоки элементарных

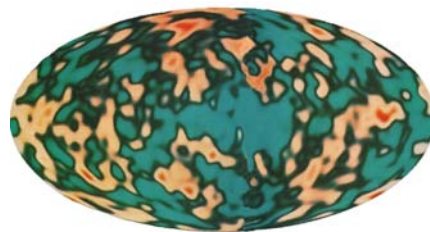


Рис. 31

Ячеистая структура Вселенной

частиц (это в основном электроны, кроме того, протоны и ядра атомов гелия (α -частицы), а также поля — гравитационное, электромагнитное.

Начиная с 1801 г. астрономы открывают малые планеты — астероиды. Оказалось, что большинство из них движется в довольно широ-



Рис. 32
Астероид Гаспра

Относительные расстояния до планет, видимых невооружённым глазом, определил ещё в XV в. Николай Коперник. Уран был открыт английским астрономом Вильямом Гершелем в 1781 г. при наблюдении в телескоп, а положение на небе Нептуна было сначала вычислено англичанином Адамсом и французом Леверье на основе закона всемирного тяготения по наблюдениям за планетами-соседями и только потом было обнаружено немецким астрономом-наблюдателем Галле в 1846 г. Стала крылатой фраза «Нептун был открыт «на кончике пера».

кой зоне между планетами Марс и Юпитер. Самый крупный астероид основного пояса астероидов — Церера. Его диаметр — около 1000 км. Сейчас открыто несколько десятков тысяч астероидов, среди них и астероид Гаспра (рис. 32). К некоторым из этих астероидов подлетали космические аппараты, получены их снимки. В последние годы учёные обнаруживают астероиды на окраинах Солнечной системы далеко за орбитами планет-гигантов. Это астероиды пояса Койпера.

Комету образует ядро, состоящее из льда: водяного, сухого (углекислота), метанового, аммиачного с примесями пыли. Если комета, двигаясь по вытянутой орбите, подлетает близко к Солнцу, ядро начинает испаряться и вокруг кометы образуется так называемая голова, состоящая из ионизированного солнечным излучением газа, который вытягивается в хвост, направленный вдоль потоков солнечного ветра (от Солнца). Характерные размеры кометных ядер — километры, размеры головы — сотни тысяч километров, хвосты комет могут достигать размеров в сотни миллионов километров. По предположению датского астронома Оорта, на окраине Солнечной системы находится резервуар кометных ядер (облако Оорта).

СИЛА, ЧТО ПРАВИТ МИРАМИ. Основные силы, которые управляют движением небесных тел в наблюдаемой Вселенной, — это силы гравитации. Под действием гравитации планеты движутся по эллиптическим орбитам вокруг Солнца, звёзды в звёздных системах — вокруг общего центра масс, спутники — вокруг планет, звёзды — вокруг центра галактик. Гравитация во многом определяет эволюцию планет, звёзд, галактик, Вселенной в целом.

В новый портфель

Вселенная как система представляет собой единство многообразия иерархически расположенных объектов, движением которых управляет в основном сила гравитации. В результате наблюдений было установлено, что в нашей Вселенной действуют единые законы. Основные структурные элементы Вселенной — галактики, в состав которых, в свою очередь, входят звёздные системы, газовые и пылевые туманности, планетные системы.

??

- ▷ Что такое галактика? Каковы основные виды и свойства галактик?
- ▷ Солнце находится на периферии нашей Галактики. Как вы думаете, что изменилось бы в движении Солнца, если бы оно находилось вблизи центра Галактики?
- ▷ Может ли комета двигаться хвостом вперёд?

28 СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА И ПЛАНЕТАРНАЯ МОДЕЛЬ АТОМА

81

Урок-практикум

Однако признание получила другая модель...
в которой атом представлялся подобно
миниатюрной солнечной системе...

Луи де Бройль

?

Почему движение электрона в планетарной модели атома водорода эквивалентно движению Земли вокруг Солнца? Каковы значения основных физических величин в системе Земля—Солнце и в атоме водорода?

Сила гравитационного притяжения. Потенциальная и кинетическая энергии. Равномерное движение по окружности. Второй закон Ньютона. Закон всемирного тяготения. Движение тел под действием силы тяжести. Взаимодействие зарядов. Импульс тела (Физика, 7—9 кл.). Планетарная модель атома (см. § 23).

Из старого
портфеля

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. На примере двух систем, описываемых одинаковыми математическими уравнениями, сравнить различные характеристики движения в микромире и мегамире.

ПЛАН РАБОТЫ

Последовательно выполняя задания, рассчитать параметры, характеризующие движение Земли вокруг Солнца и электрона вокруг протона в планетарной модели атома водорода. Сравнить эти параметры. Результаты оформить в виде таблицы.

Вы познакомились с масштабами микромира и мегамира. Для лучшего представления о том, насколько различаются эти миры, полезно сравнить различные характеристики на простейших примерах. Рассмотрим систему Земля—Солнце и планетарную модель атома водорода (рис. 33).

Будем считать, что движение Земли и движение электрона в атоме водорода происходят по окружностям. Примем для диаметра атома водорода значение 10^{-10} м, а для радиуса орбиты Земли — $1,5 \cdot 10^8$ м.

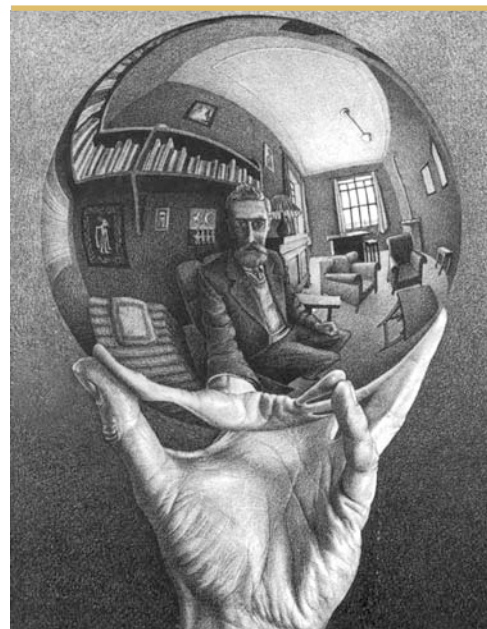
Вам также необходимо знать:

заряд электрона — $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл;

массу электрона — $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг;

массу протона — $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг.

В соответствии с законом всемирного тяготения сила притяжения двух тел равна $F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ (вспомните смысл величин, входящих в это выражение).



Мауриц Корнелис Эшер.
Рука с зеркальным шаром

Не кажется ли вам, что модель Солнечной системы и планетарная модель атома отражаются друг в друге, как человек, держащий в руке зеркальный шар, отражается в этом шаре?

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

Сила взаимодействия двух зарядов определяется выражением $F_e = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$. Коэффициент k зависит от выбора системы единиц, в системе СИ он равен $9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

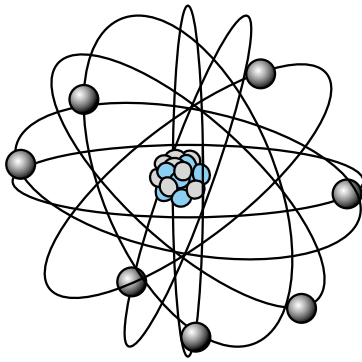


Рис. 33
Планетарная модель атома

1. Вычислите силу, действующую на электрон в атоме водорода и на Землю со стороны Солнца. Сделайте вывод, какая из сил и во сколько раз больше.
2. При сравнении фундаментальных взаимодействий мы говорили, что гравитационное взаимодействие слабее электромагнитного. Однако в предыдущей задаче гравитационная сила больше, чем электрическая. В чём здесь дело? Нельзя сравнивать силу, действующую на весь земной шар, и силу, действующую на электрон. Вычислите силу, действующую со стороны Солнца на один электрон, находящийся на земном шаре, и сравните её с электрической силой в атоме водорода.

ПОДСКАЗКА

Заряды в макроскопических телах и в телах мегамира (звёзды, планеты) очень точно скомпенсированы, все эти тела электрически нейтральны. Предположим, что эта компенсация немного нарушена: отсутствует каждый миллиардный электрон из вещества Солнца и вещества Земли. В таком случае Земля и Солнце будут расталкиваться с силой, превышающей силу гравитационного притяжения более чем в 10^{17} раз.

3. При движении по окружности радиусом r тело обладает ускорением $a = v^2/r$. Используя второй закон Ньютона и выражения для сил, найдите скорость движения электрона и скорость движения Земли по орбите. Сравните скорости. Убедитесь, что не все величины в микромире меньше, чем в мегамире.
4. Чтобы вычислить периоды обращения электрона вокруг ядра атома и Земли вокруг Солнца, достаточно разделить длину окружности орбиты на скорость движения: $T = 2\pi r/v$. Найдите эти периоды обращения и сравните их.

ПОДСКАЗКА

Чтобы проверить правильность вычислений, выразите период обращения Земли в сутках.

5. Важнейшей величиной, характеризующей движение, является энергия. Энергия электрона в атоме водорода и энергия Земли в гравитационном поле Солнца сохраняются (остаются неизменными при движении). Энергия тела складывается из кинетической энергии и потенциальной энергии. Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия определяется соотношением $E_g = -G \frac{m_1 m_2}{r}$ (знак «минус» здесь важен, его нельзя не учитывать).

Вспомните выражение для кинетической энергии. Вычислите потенциальную, кинетическую и полную энергии для Земли, вращающейся по орбите вокруг Солнца, и для электрона в атоме водорода.

6. Ещё одной важной сохраняющейся величиной является момент импульса (подробнее см. § 37). Сейчас лишь поясним, что, подобно тому как импульс характеризует инерционность поступательного движения, момент импульса характеризует инерционность вращательного движения. Момент импульса для тела, движущегося по круговой орбите, равен $L = mvr$.

Вычислите моменты импульса Земли и электрона и сравните их. Сравните момент импульса электрона с величиной $h/2\pi$, где h — постоянная Планка.

При правильных вычислениях вы должны получить, что момент импульса электрона близок к величине $h/2\pi$. В соответствии с теорией Бора для атома водорода момент импульса электрона всегда кратен этой величине, т. е. равен $nh/2\pi$, где n — целое число. Различным значениям n соответствуют различные значения уровней энергии. Это правило справедливо и для движения Земли вокруг Солнца.

Минимальное значение момента импульса при $n = 1$ соответствует наименьшей энергии электрона в атоме. Этому значению соответствует наименьший радиус орбиты в теории Бора.

Очень эффективно сравнить электромагнитное и гравитационное взаимодействия можно следующим образом. Предположим, что между электроном и протоном в атоме водорода исчезло электромагнитное взаимодействие и осталось лишь гравитационное взаимодействие. Предположим также, что электрон по-прежнему вращается по круговой орбите вокруг протона и имеет минимально возможный момент импульса, т. е. минимальный радиус орбиты. Найдите радиус такой орбиты. С какими известными вам величинами его можно сравнить?

ПОДСКАЗКА

Полагая, что момент импульса электрона равен $h/2\pi$, выразите скорость через радиус орбиты. Напишите второй закон Ньютона для электрона, взаимодействующего с протоном при посредстве гравитационной силы. Подставив в это уравнение выражение для скорости, получите уравнение для радиуса орбиты.

Все величины, характеризующие движение в системе Земля—Солнце и в атоме водорода, различаются на много порядков. Однако некоторые из этих величин для атома водорода больше, чем для системы Земля—Солнце.

**В новый
портфель**

29 ЕДИНСТВО МНОГООБРАЗИЯ. БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Урок-лекция

Дать краткое определение «жизни» или «живого» непросто... Возможно, лучший способ подойти к решению задачи — это описать то, что мы знаем об основных процессах жизни, снимая шелуху с луковицы до тех пор, пока останется совсем немного или вообще ничего, и затем обобщить то, что мы узнали.

Ф. Крик

?

Как можно определить понятие «жизнь»? Что такое иерархические уровни организации живой материи? Сколько уровней организации живого выделять и каковы критерии их выделения?

Ключевые
слова

Биологическая система • Наследственность • Изменчивость • Эволюция • Иерархические уровни организации живого: молекулярно-генетический, онтогенетический, популяционно-видовой, экосистемный • Биополимеры • Популяция • Экосистема • Биосфера

Из старого
портфеля

Гомеостаз. Онтогенез. Половое размножение. Гены как участки ДНК (Биология, 9 кл.).



Мауриц Корнелис Эшер. Три мира
Вот те, которые с древних времён
находятся в единстве.

Лао-Цзы

ЧТО ТАКОЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ. Попробуем выделить основные признаки, которые присущи всему живому.

Любой живой организм устроен очень сложно. Его составляют определённым образом упорядоченные и взаимодействующие друг с другом и с окружающей средой компоненты, каждый из которых выполняет присущие ему функции. Это и отдельные органы в организме многоклеточных животных, и органеллы в клетке, и даже молекулы в составе клеточных структур.

Такое устройство позволяет сделать вывод, что живой организм представляет собой особым образом организованную систему — **биологическую систему**. Данная система, построенная на основе белков и нуклеиновых кислот, является *открытой системой*, поскольку живые организмы обмениваются веществом, энергией и информацией с внешней средой. Они извлекают из окружающей среды энергию (в виде питательных веществ, солнечной радиации) и необходимые им вещества, преобразуют их и используют для поддержания своего существования, в том числе для роста, развития и размножения, затем возвращают назад в окружающую среду продукты распада и переработанную энергию (в виде тепла).

Живые организмы способны регулировать свои отношения с окружающей средой. Это выражается в явлении *гомеостаза*, т. е. в способности организмов противостоять колебаниям условий внешней среды

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

(температуры, влажности и т. п.) и поддерживать в определённых пределах постоянство своего состава и свойств.

Живые организмы воспринимают информацию, поступающую из окружающей среды, — тепло и холод, свет и тень, запах, шум, механическое воздействие и многое другое. Сигналы эти обрабатываются, сортируются, а затем следует соответствующая ответная реакция. Чем сложнее устроен организм, тем разнообразнее и информация, которую он способен улавливать из внешней среды, тем совершеннее способы её анализа и характер реагирования.

Важнейшим свойством биологических систем следует считать способность хранить и передавать информацию о своей структуре и функциях в ряду поколений. Обеспечивается это универсальным для всех живых систем механизмом, основой которого служат молекулы ДНК. Благодаря способности молекулы ДНК к самоудвоению (репликации) эта информация передаётся от родителей к потомкам, т. е. обеспечивается **наследственность**. У живых существ, будь то амёба или человек, сходство родителей и потомков никогда не бывает полным. В этом проявляется **изменчивость**, механизмы формирования которой тоже общие для всего живого. Более того, эта изменчивость может наследоваться, другими словами, новые признаки, появившись у какого-то организма впервые, могут передаваться его потомкам. А где есть наследственная изменчивость, там есть поле деятельности для естественного отбора, а следовательно, возможна и **эволюция**. В ходе эволюции возникают формы жизни, всё более и более приспособленные к тем или иным условиям существования. Именно благодаря способности к эволюции и возникло огромное многообразие видов живых организмов на нашей планете.

Жизнь можно определить как особую форму организации открытых систем, построенных на основе белков и нуклеиновых кислот и обладающих способностью к самоорганизации, самовоспроизведению и эволюции.

**В новый
портфель**

УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИЗНИ.

Биологическим системам присуща **иерархичность организации**. Это означает, что в структуре живых систем можно выделить разные уровни, причём каждый последующий уровень включает в себя все предыдущие. Речь при этом идёт не о простом сложении структурных элементов, они соподчинены и благодаря взаимодействию друг с другом образуют качественно новую структуру — новый уровень организации. Важно помнить, что на каждом уровне организации система приобретает качественно новые свойства, которые отсутствуют на нижележащих уровнях.

В организации живых систем известный отечественный учёный-генетик Н. В. Тимофеев-Ресовский выделял четыре основных **иерархических уровня**: молекулярно-генетический, онтогенетический, популяционно-видовой и экосистемный (рис. 34).

Молекулярно-генетический уровень — это уровень биополимеров, сложных макромолекул, которые присущи только живым организмам. В первую очередь речь идёт о белках и нуклеиновых кислотах, с появления которых много миллионов лет тому назад и начался процесс эволюции жизни на Земле. На уровне молекул протекают такие важнейшие процессы жизнедеятельности организмов, как обмен веществ и передача наследственной информации, которая закодирована в структуре молекул ДНК (в генах) или РНК.

Часто используют очень дробную классификацию и различают следующие уровни: молекулярный, клеточных органоидов, клеточный, тканевый, организменный и т. д. — вплоть до биосферного. Столь детальное подразделение в большей степени отражает уровни, на которых проводится изучение живых объектов (например, гистологи изучают тканевый уровень, цитологи — клеточный и т. д.).

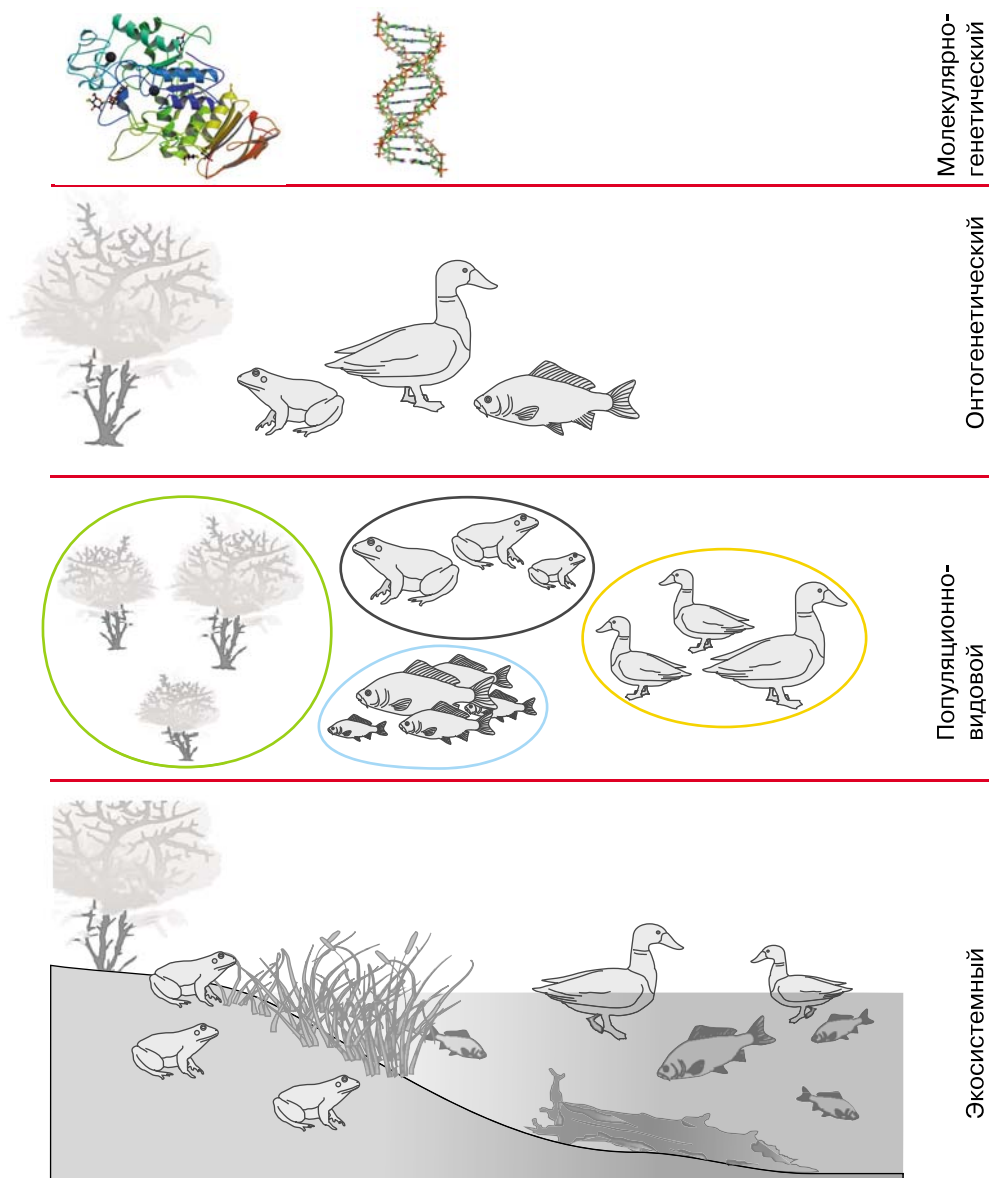


Рис. 34

Иерархические уровни организации живого

Современные технологии позволяют учёным проводить свои исследования именно на молекулярном уровне. Сформировалась новая отрасль биологии — молекулярная биология и её практическая составляющая — молекулярная биотехнология. С развитием последней связано получение новых лекарственных препаратов и вакцин, продуктов питания, разработка методов лечения онкологических и наследственных заболеваний и многое другое.

Следующий уровень организации живого — **онтогенетический**. Единицей жизни на этом уровне служит особь (индивид), которая может состоять из одной клетки или многих клеток. Каждой особи присущ *онтогенез*, под которым подразумевается вся совокупность её преобразований с момента появления на свет при оплодотворении яйцеклетки (половое размножение) или делении материнского организма (бесполое размножение) и до конца её жизни. Этот уровень организации первый в систе-

ме иерархии, для которого характерна самодостаточность. Действительно, только организм (но никак не молекулы) обладает способностью к относительно автономному существованию во внешней среде.

Неклеточной формой жизни принято считать вирусы. Вирусы только потенциально способны воспроизводить себя. Для реализации этой потенции они должны использовать клетку другого организма. Вне клетки вирусы размножаться не могут.

Начиная с **популяционно-видового** уровня рассматривают уже не отдельные организмы, а группы организмов. Ключевую роль на популяционно-видовом уровне играет **популяция** — совокупность особей (организмов) одного вида, которые населяют определённую территорию и взаимодействуют друг с другом.

Внутри популяции действуют механизмы, которые контролируют её численность, пространственное распределение особей, взаимоотношения с популяциями других видов. Среди входящих в популяцию особей осуществляется интенсивный обмен генами в процессе полового размножения. В силу этого возникающие генетические изменения могут быстро распространяться внутри популяции и её **генофонд** (совокупность генов всех особей) становится отличным от генофонда другой популяции данного вида. Накопление генетических различий между популяциями служит одной из предпосылок процесса видообразования.

Следующий, более высокий иерархический уровень — это **уровень экосистем**. Под **экосистемой** понимают совокупность совместно обитающих популяций разных видов и среды их обитания, объединённых потоками вещества и энергии. Основой для любой экосистемы служат растения и/или бактерии, единственные из живых существ, которые способны создавать первичное органическое вещество в результате процессов фотосинтеза или хемосинтеза. Размер экосистем различен, и чётких границ между ними нет.

Наконец, самая крупная экосистема на нашей планете — это **биосфера**, которая включает в себя все живые существа планеты и среды их обитания: литосферу, гидросферу, атмосферу и педосферу (почвенный слой Земли).

К одноклеточным организмам относятся многие простейшие — амёбы, инфузории, жгутиконосцы и др. Среди многоклеточных организмов различают колониальные, состоящие из группы клеток, которые остались связанными друг с другом после деления (например, колония зелёной водоросли вольвокс), и тканевые. В составе ткани все клетки имеют общее происхождение, обладают сходной структурой и функциями. К тканевым организмам относят высшие растения и животных. Ткани разных типов у них формируют отдельные органы, связанные в системы органов, из которых уже, в свою очередь, формируется организм.

Экосистемой может быть и лужа, и упавшее дерево в лесу вместе с населяющими его популяциями микроорганизмов, грибов, насекомых и др. Можно говорить об экосистемах, соответствующих географическим зонам суши и Мирового океана, — экосистемах тундры, лесов, степей, пустынь и т. п.

В организации живого можно выделить четыре фундаментальных иерархических уровня, на каждом из которых живые системы представлены элементарными единицами. На молекулярно-генетическом это биополимеры (нуклеиновые кислоты и белки), на онтогенетическом особи (одноклеточные и многоклеточные), на популяционно-видовом группы особей (популяции и виды), на экосистемном совокупность популяций разных видов живых организмов и среды их обитания.

В новый
портфель

??

- ▷ Какие выделяют уровни организации биологических систем?
- ▷ Какое значение для биологических систем имеет явление гомеостаза?
- ▷ Почему к важнейшим признакам живых систем относят способность к воспроизведению и эволюции?

Смотри в корни!

Козьма Прутков

?

Какие химические элементы входят в состав живой клетки? Как устроены белки и как их молекулы приобретают определённую пространственную конфигурацию? Что такое ферменты и как они распознают свои субстраты? Какое строение имеют молекулы РНК и ДНК? Какие особенности молекулы ДНК позволяют ей играть роль носителя наследственной информации?

Ключевые
слова

Пептидная связь • Полипептиды •
Структура белка: первичная, вторичная, третичная, четвертичная •
Ферменты • РНК • ДНК • Репликация • Ген •
Генетическая информация

Из старого
портфеля

Химические элементы. Виды химических связей. Катализаторы (Химия, 8—9 кл.). Гормоны. Липиды. Сахара. Аминокислоты. Полимеры. Белки. Нуклеиновые кислоты (Биология, 8—9 кл.).

ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ И МОЛЕКУЛЯРНЫЙ СОСТАВ ЖИВОГО. Знакомство с живыми системами мы начинаем с молекулярно-генетического уровня. Это уровень молекул, которые составляют структурную и функциональную основу клеток живых организмов.

Вспомним, что из всех известных элементов, входящих в периодическую систему Д. И. Менделеева, в живой клетке обнаружено около 80. При этом среди них нет ни одного, который отсутствовал бы в неживой природе. Это служит одним из доказательств общности живой и неживой природы.

Примерно 98 % массы клетки составляют углерод, водород, азот и кислород. В значительно меньших количествах в клетке содержатся сера, фосфор, калий, натрий, кальций, магний, железо и хлор. Все остальные элементы (цинк, медь, иод, фтор, кобальт, марганец и др.) вместе составляют не более 0,02 % массы клетки. Поэтому их называют *микроэлементами*. Микроэлементы входят в состав гормонов, ферментов и витаминов, т. е. соединений, обладающих высокой биологической активностью.

Большую часть содержимого клетки составляет вода. Многие вещества поступают в клетку или выводятся из неё в виде водных растворов, в водной среде протекает и большинство внутриклеточных реакций. Более того, вода принимает непосредственное участие в ряде химических реакций, отдавая образующимся соединениям ионы H^+ или OH^- . Благодаря своей высокой теплоёмкости вода стабилизирует

температуру внутри клетки, делает клетку менее зависимой от колебаний температуры окружающей клетку среды.

Кроме воды, составляющей 70 % от объёма клетки, в её состав входят органические вещества — соединения углерода. Среди них различают небольшие молекулы, содержащие до 30 атомов углерода,

Иод, например, необходим для производства гормона щитовидной железы — тироксина. Недостаток в организме иода приводит к уменьшению выработки этого гормона и как следствие — к развитию тяжёлых заболеваний, в том числе кретинизма у детей и микседемы у взрослых.

и макромолекулы. К первым относят простые сахара (моносахариды), липиды, аминокислоты и нуклеотиды. Они служат структурными компонентами для построения макромолекул, а кроме того, играют существенную роль в процессах обмена веществ и энергии живой клетки.

И всё же основа жизни на уровне молекул — это белки и нуклеиновые кислоты, о которых мы поговорим более подробно.

АМИНОКИСЛОТЫ И БЕЛКИ. Белкам принадлежит особая роль в живой природе. Они служат строительным материалом клетки, и практически ни один из процессов, которые протекают в клетках, не обходится без их участия.

Молекула белка представляет собой цепочку *аминокислот*, причём число звеньев в такой цепочке может колебаться от десятка до нескольких тысяч. Соседние аминокислоты связаны друг с другом особым видом химической связи, которая носит название **пептидной связи**. Связь эта образуется в процессе синтеза белка, когда карбоксильная группа одной аминокислоты связывается с примыкающей к ней аминогруппой другой аминокислоты (рис. 35).

Соединения, состоящие из большого числа остатков аминокислот, называют **полипептидами**. Таким образом, по своему химическому строению белки относятся к полипептидам.

В построении белков участвует 20 видов аминокислот. Однако порядок их чередования в полипептидной цепочке самый разный, что даёт возможность для огромного количества сочетаний, а следовательно, и для построения многочисленных типов белковых молекул. Следует отметить, что растения способны синтезировать все 20 аминокислот, необходимых для построения белков. Животные же получают ряд аминокислот, называемых незаменимыми, питаясь другими живыми организмами.

Последовательность аминокислот в молекуле белка обозначают как **первичную структуру** белка (рис. 36, I).

Различают и **вторичную структуру** белка, под которой понимают характер пространственного расположения отдельных фрагментов цепи аминокислот. Во вторичной структуре участки молекулы белка имеют форму спиралей (рис. 36, II) или складчатых слоёв. В их формировании важная роль принадлежит водородным связям, устанавливаемым между кислородом и водородом пептидных связей ($-\text{N}-\text{H} \cdots \text{O}=\text{C}-$) разных аминокислот.

Под **третичной структурой** белка подразумевают пространственное расположение всей полипептидной цепи (рис. 36, III). Третичная структура определяет форму молекулы белка, которая может быть нитевидной или округлой. Нитевидные молекулы белков называют *фибриллами*, молекулы белков округлой формы — *глобулами*.

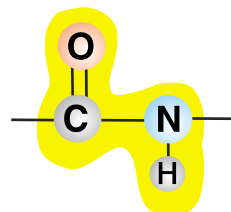


Рис. 35
Пептидная связь

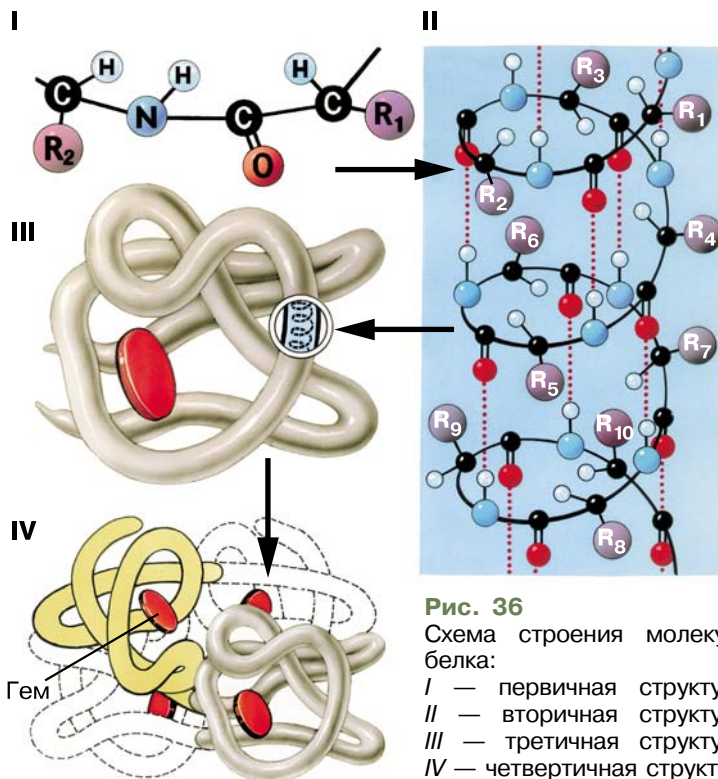


Рис. 36
Схема строения молекулы белка:
I — первичная структура;
II — вторичная структура;
III — третичная структура;
IV — четвертичная структура

Наконец, в состав некоторых белков может входить несколько глобул, каждую из которых формирует самостоятельная цепочка аминокислот. Соединение нескольких глобул в единый комплекс обозначают термином **четвертичная структура** белка. Изображённая на рисунке 36, IV молекула белка гемоглобина состоит из четырёх глобул, содержащих небелковую часть — гем.

Самоорганизация — одно из уникальных свойств большинства белков, лежащее в основе многих выполняемых ими функций. В частности, на специфичности пространственной структуры основан механизм распознавания биологическими катализаторами — **ферментами** — своего *субстрата*, т. е. молекулы, которая после взаимодействия с ферментом испытывает те или иные химические преобразования и превращается в *продукт*. В качестве ферментов выступают белки, определённый участок молекулы которых образует активный центр. Он связывает специфичный для данного фермента субстрат и преобразует его в продукт. При этом фермент способен отличать свой субстрат благодаря особой пространственной конфигурации активного центра, специфичной для каждого фермента. Можно представить, что субстрат подходит к ферменту, как ключ к замку.

В новый портфель

Молекула белка способна самоорганизовываться в сложную пространственную структуру, конфигурация которой специфична и определяется последовательностью аминокислот, т. е. первичной структурой белка.

В основе всех свойств белка лежит его первичная структура — последовательность аминокислот в молекуле. Её можно сравнить со «словом», которое написано «алфавитом», состоящим из 20 «букв»-аминокислот. А если есть «слова», то может существовать и шифр, при помощи которого эти «слова» могут быть закодированы. Каким образом? Ответить на этот вопрос поможет знакомство со строением нуклеиновых кислот.

НУКЛЕОТИДЫ И НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ. Каждый нуклеотид состоит из *азотистого основания* (сложного азотсодержащего органического соединения), *моносахарида* (содержащего пять атомов углерода) и остатка *фосфорной кислоты*. Из нуклеотидов построены макромолекулы нуклеиновых кислот.

В состав молекулы **РНК** (рибонуклеиновая кислота) входят нуклеотиды, построенные на основе сахара рибозы и содержащие в качестве

азотистых оснований аденин (А), гуанин (Г), цитозин (Ц) и урацил (У). Нуклеотиды, составляющие молекулу **ДНК** (дезоксирибонуклеиновая кислота), вместо рибозы содержат дезоксирибозу, а вместо урацила — тимин (Т).

Соединение нуклеотидов между собой в молекуле ДНК (РНК) осуществляется за счёт связи фосфорного остатка одного нуклеотида с дезоксирибозой (рибозой) другого с образованием пар $A = T$, $G \equiv C$ (рис. 37).

В ходе исследований состава молекул ДНК было выяснено, что в каждой из них число адениновых азотистых оснований (А) равно числу тиминовых (Т), а число гуаниновых (Г) — числу цитозиновых (Ц). Это открытие послужило предпосылкой для создания Дж. Уотсоном и Ф. Криком в 1953 г. модели молекулы ДНК — знаменитой *двойной спирали*. Согласно этой модели молекула ДНК состоит из двух цепей, которые свёрнуты в виде правозакрученной спирали (рис. 38).

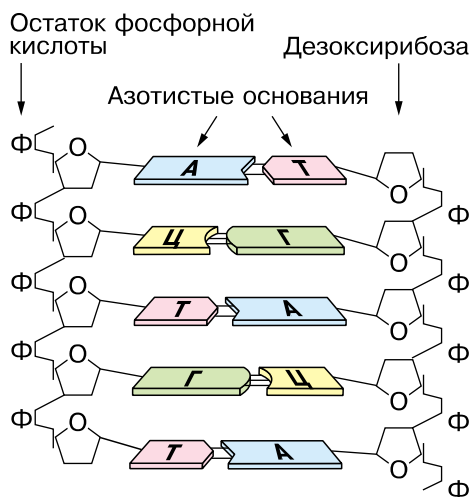


Рис. 37
Состав цепи и строение молекулы ДНК

Каждая цепь содержит последовательность нуклеотидов, строго соответствующую (комплементарную) последовательности другой цепи. Это соответствие достигается наличием водородных связей между направленными навстречу друг другу азотистыми основаниями двух цепей — А и Т или Г и Ц. Связь между другими парами азотистых оснований невозможна, поскольку пространственная структура молекул азотистых оснований такова, что только А и Т, так же как Г и Ц, могут сблизиться друг с другом настолько, чтобы образовать между собой водородные связи.

Важнейшая особенность ДНК заключается в возможности её самоудвоения — **репликации** (рис. 39), которая осуществляется при участии группы ферментов.

В определённых участках, в том числе и на одном из концов двуцепочной спиральной молекулы ДНК, происходит разрыв водородных связей между цепями. Цепи разделяются и разматываются. Этот процесс постепенно захватывает всю молекулу. По мере расхождения цепей материнской молекулы на них, как на матрице, из имеющихся в окружающей среде нуклеотидов выстраиваются дочерние цепи. Сборка новой цепи идёт в точном соответствии с принципом комплементарности: против каждого А встаёт Т, против каждого Г — Ц и т. д. В итоге получаются две новые молекулы ДНК, у каждой из которых одна цепь осталась от исходной молекулы ДНК, а другая — новая. При этом две образующиеся при репликации молекулы ДНК идентичны исходной.

Способность молекулы ДНК к самокопированию и лежит в основе передачи наследственной информации живыми организмами. Последовательность нуклеотидов в молекуле ДНК служит тем шифром, с помощью которого закодирована информация о белках и РНК, необходимых организму, т. е. наследственная информация.

Участок ДНК, в котором закодирована информация об одной полипептидной цепи или об одной молекуле РНК, называют **геном**. Поэтому информацию, заключённую в ДНК, называют **генетической информацией**.

В отличие от молекулы ДНК молекула РНК состоит из одной полинуклеотидной цепи. Существует несколько типов РНК, которые выполняют в клетке разные функции. РНК-копия участка цепи ДНК носит название информационной или **матричной РНК** (мРНК) и играет роль посредника при передаче генетической информации от ДНК к структурам клетки, синтезирующим белок, — рибосомам. Кроме того, в клетке имеются **рибосомные РНК** (рРНК), которые вместе с белками формируют рибосомы, **транспортные РНК** (тРНК), транспортирующие аминокислоты к месту синтеза белка, и некоторые другие.

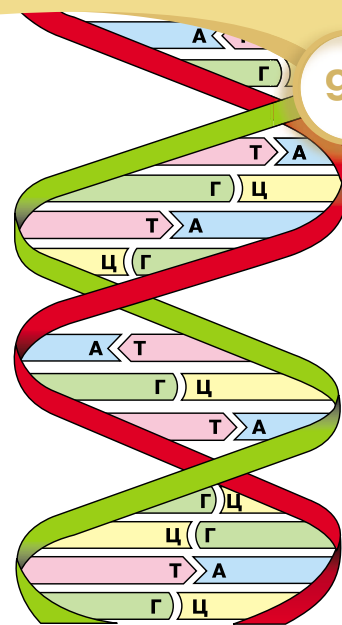


Рис. 38
Модель структуры ДНК

Материнская молекула ДНК

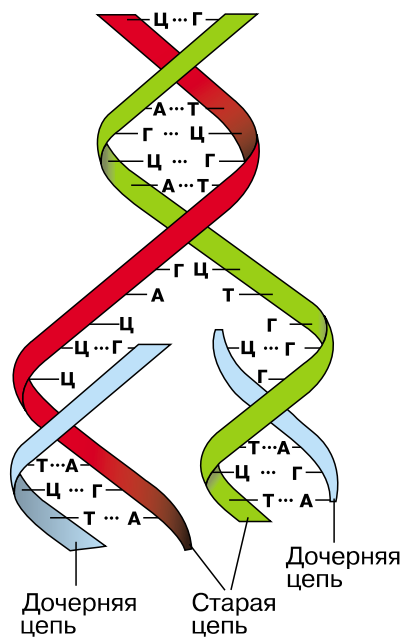


Рис. 39
Схема репликации ДНК

Молекула ДНК состоит из двух свёрнутых в спираль комплементарных цепей нуклеотидов, которые удерживаются вместе водородными связями. Последовательность нуклеотидов в цепи ДНК служит шифром, который кодирует генетическую информацию. Расшифровка этой информации осуществляется при участии молекул РНК. Способность ДНК к самокопированию (репликации) обеспечивает возможность передачи генетической информации в живой природе.

**В новый
портфель**

- ▶ Для белков характерна реакция гидролиза. В организме животных и человека гидролиз белков осуществляется под действием ферментов. Какую информацию можно получить при осуществлении гидролиза белков? Какие ещё органические вещества подвергаются гидролизу?
- ▶ Как вы думаете, с чем связано наличие у молекул белка нескольких уровней пространственной организации?
- ▶ В формировании вторичной структуры белка важная роль принадлежит водородным связям. А для каких ещё веществ характерно образование водородных связей?
- ▶ Используя справочную литературу или интернет-ресурсы, выясните, какие функции белки выполняют в организме.
- ▶ Какой принцип лежит в основе строения и репликации ДНК?

31 БЕЛКИ И НУКЛЕИНОВЫЕ КИСЛОТЫ

Урок-практикум

Очевидное — это то, чего никогда не видишь, пока кто-нибудь не сформулирует это достаточно просто.

К. Гибран

?

Какие изменения происходят с молекулой белка при денатурации? Как работают ферменты? Как реплицируется ДНК?

Ключевые
слова

Денатурация

Из старого
портфеля

Материал § 30.



Дэниэл Маклиз. Уильям Кэкстон показывает первый печатный экземпляр своего издания королю Эдуарду IV

Наборная касса, разделённая на ячейки

Какова ассоциативная связь между этими иллюстрациями и содержанием параграфа?

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Определить связь пространственной организации молекулы белка с процессом его денатурации и механизмом действия ферментов; изучить механизм репликации ДНК.

ПЛАН РАБОТЫ

Воспользовавшись мультимедийной презентацией, на конкретных схемах представить себе пространственную организацию белковых молекул. Проследить её связь с функциями, выполняемыми белками (на примере ферментов). Более детально изучить механизм репликации молекулы ДНК.

1. Найдите в мультимедийной презентации раздел, иллюстрирующий процесс **денатурации** белка. Попробуйте описать и схематично изобразить на бумаге суть происходящих при этом процессов.

ПОДСКАЗКА

Формирование высокоорганизованной (т. е. обладающей структурой сложнее первичной) молекулы белка обусловлено возникновением разных по механизму и прочности химических связей. При повышении температуры неизбежно наступает момент, когда более слабые связи (нековалентные) рвутся, вследствие чего происходит деформация пространственной структуры молекулы.

2. Почему белки при денатурации лишаются биологической активности?

ПОДСКАЗКА

Вспомните из материала § 30, с какой структурой белка (первичной, вторичной, третичной или четвертичной) связано выполнение им определённых функций.

3. Как действуют ферменты? Найдите соответствующий раздел в мультимедийной презентации и попробуйте воспроизвести основные этапы работы фермента на бумаге. (Задание повышенной сложности.)

ПОДСКАЗКА

Вспомните, что такое ферменты и ферментативные реакции.

4. Найдите в мультимедийной презентации раздел о репликации ДНК и опишите основные этапы этого процесса.

ПОДСКАЗКА

Воспользуйтесь материалом § 30 и обратите особое внимание на то, что все этапы репликации ДНК обеспечиваются ферментами. Среди них особую роль играют ДНК-полимеразы, которые отвечают за синтез новых цепей на матрице старых. Репликация ДНК происходит с чрезвычайно высокой точностью. Подсчитано, что у млекопитающих, ДНК которых состоит из 3 млрд пар нуклеотидов, при воспроизведении генома (так называют совокупность всей ДНК в гаплоидном наборе хромосом) возникает не более трёх ошибок. Такая точность репликации обеспечивается тем, что ДНК-полимеразы проверяют соответствие того или иного нуклеотида матрице дважды: первый раз перед его включением в новую цепь, а второй раз перед включением в эту цепь следующего нуклеотида.

ОБРАЗ ЖИЗНИ

Синтез белков в организме происходит из аминокислот. Некоторые из этих аминокислот человек получает в готовом виде с пищей. Пища должна содержать в достаточном количестве белки как животного, так и растительного происхождения. Например, безбелковая или только белковая диета может нарушить обмен веществ в организме.

Свойства белков во многом определяются пространственной структурой их молекул. Нарушение этой структуры — денатурация — может происходить под воздействием разных факторов среды и носить как обратимый, так и необратимый характер. Процесс, лежащий в основе передачи генетической информации живыми организмами, — репликация ДНК — невозможен без участия специализированных белков-ферментов.

**В новый
портфель**

32 КЛЕТКА КАК СТРУКТУРНАЯ ОСНОВА ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

Урок-лекция

Ни одно тело не может пользоваться жизнью, если его вмещающиеся части не представляют клеточной ткани или не образованы из клеточной ткани.

Ж.-Б. Ламарк

?

Как шло развитие представлений о клеточном строении живых организмов? Каковы основные компоненты клетки? Как устроены клеточные мембраны? Как вещества попадают в клетку? Какова структура клеточного ядра? Как клетки делятся?

Ключевые
слова

Клеточная теория • Прокариоты • Эукариоты • Цитоплазма • Органеллы • Плазматическая мембрана • Лизосомы • Эндоплазматическая сеть (ЭПС) • Рибосомы • Комплекс Гольджи • Цитоскелет • Митохондрии • Ядро • Хромосомы • Митоз

Из старого
портфеля

Строение клетки. Основы генетики (Биология, 7—9 кл.).

КЛЕТОЧНАЯ ТЕОРИЯ. Элементарной единицей онтогенетического уровня организации живого является биологическая система, состоящая из одной или нескольких клеток. Именно клетки и играют роль «кирпичиков», из которых складывается живой организм.

Впервые о существовании клеток сообщил в 1665 г. англичанин Роберт Гук. В дальнейшем клетки стали находить у всех исследуемых под микроскопом растений и животных. Постепенно сформировалась концепция, которая была опубликована в 1839 г. в книге Теодора Шванна и получила название **клеточной теории**.

В современном изложении основные постулаты клеточной теории выглядят так:

- клетка — элементарная единица жизни, мельчайший элемент материи, который можно назвать живым;
- все живые существа состоят из одной или многих клеток;
- все клетки образуются только в результате деления других клеток.

Именно эти положения клеточной теории являются свидетельством единства организации биологических систем на онтогенетическом уровне.

Существенный вклад в формирование клеточной теории внёс в 1925 г. французский исследователь Эдуард Шаттон, который предложил разделить все живые организмы на **прокариот** и **эукариот**. Клетки прокариот не обладают оформленным ядром — это бактерии и археи, в клетках же эукариот (это все остальные живые существа) ядро есть. Вирусы под постулаты клеточной теории не попадают — это неклеточная форма жизни.

Долгое время изучение клеток велось при помощи световых микроскопов. Разрешающая способность этих приборов не превышала 0,4—0,7 мкм, что не позволяло детально исследовать особенности организации структур, входящих в состав клеток. Только с появлением электронных микроскопов, разрешающая способность которых достигает тысячных

долей микрометра, с развитием биохимии и молекулярной биологии в середине — конце XX в. произошла подлинная революция в науке о строении клетки — *цитологии*.

СТРОЕНИЕ КЛЕТКИ ЭУКАРИОТ.

В клетке эукариот выделяют наружную плазматическую мембрану, цитоплазму и ядро (рис. 40). **Цитоплазма** представляет собой жидкую среду клетки (цитозоль) вместе с погружёнными в неё внутриклеточными структурами — **органеллами**, или органоидами.

В структурной организации клетки чрезвычайно важная роль принадлежит мембранам, которые не только формируют наружную плазматическую мембрану, но и ограничивают многие органеллы. Строение всех клеточных мембран однотипно (рис. 41). Они состоят из двойного слоя *липидов* (в основном фосфолипидов), в который встроены белки.

Наружная плазматическая мембрана клетки отделяет её содержимое от внешней среды, благодаря чему поддерживается определённый химический состав цитоплазмы. Для нормального функционирования клетка должна непременно обмениваться веществами с окружающей средой. Молекулы проникают в клетку и выводятся из неё благодаря диффузии или переносятся специальными транспортными белками, которые входят в состав плазматической мембраны.

Клетки способны перемещать через плазматическую мембрану и весьма значительные количества веществ при *пиноцитозе* и *фагоцитозе* (рис. 42). В результате этих процессов субстрат (жидкий при пиноцитозе и твёрдый при фагоцитозе) заключается мембраной в пузырёк, который оказывается в цитоплазме. Здесь пузырёк сливается с одной или несколькими **лизосомами** — органеллами, которые содержат ферменты, способные разрушать органические соединения. Образующиеся при разложении субстрата простые органические молекулы поступают в цитоплазму и используются клеткой, а переваренные остатки либо выводятся наружу, либо накапливаются в цитоплазме.

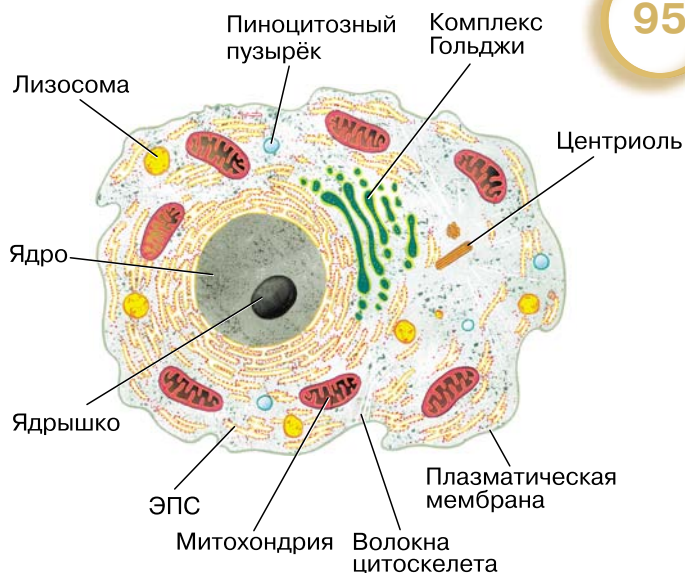


Рис. 40
Обобщённая схема строения животной клетки

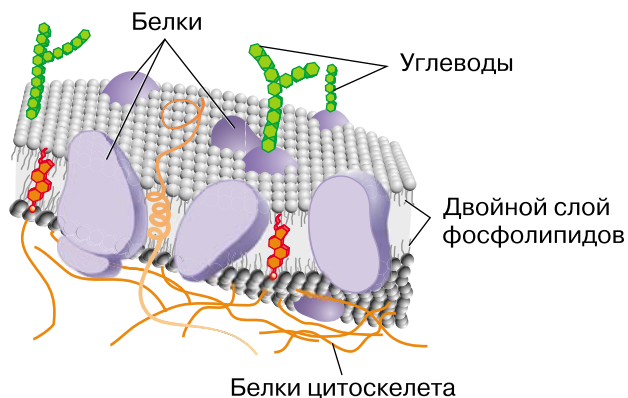


Рис. 41
Схема строения плазматической мембраны

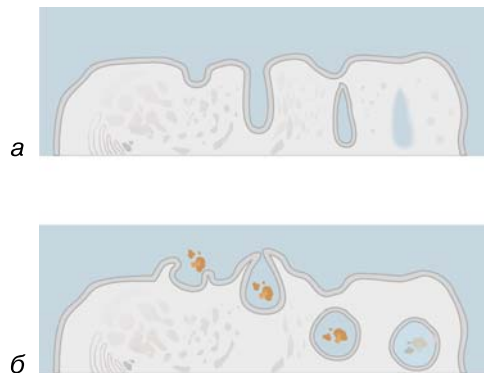


Рис. 42
Пиноцитоз (а) и фагоцитоз (б)

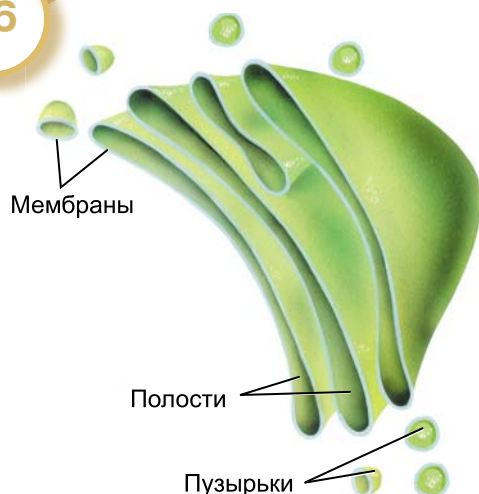


Рис. 43
Схема строения комплекса Гольджи

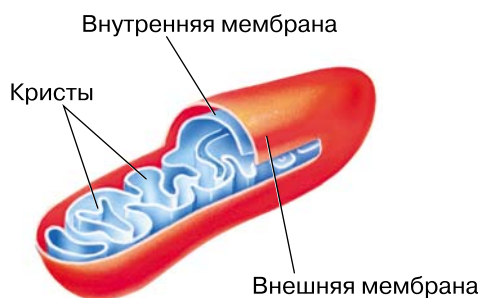


Рис. 44
Схема строения митохондрии

В клетке одновременно происходит синтез и распад огромного числа макромолекул. Упорядочиванию и достижению максимальной эффективности всех этих процессов способствует разделение внутреннего пространства клетки эукариот на замкнутые отсеки — органеллы. В пределах каждой органеллы сосредоточиваются определённые ферменты и исходные вещества, необходимые для протекания той или иной химической реакции.

Синтез сахаров и жиров связан с работой гладкой **эндоплазматической сети (ЭПС)**. Синтез же белков осуществляется на **рибосомах** — мельчайших (15—35 нм) органеллах, образованных из РНК и белка и состоящих из двух частей. Рибосомы могут свободно располагаться в цитоплазме либо прикрепляться к уплощённым цистернам ЭПС, которая в этом случае называется шероховатой (**ШЭПС**). В процессе синтеза белки накапливаются в полости цистерн ШЭПС, откуда в виде окружённых мембраной пузырьков доставляются через цитоплазму к **комплексу Гольджи** (рис. 43). В этой клеточной органелле, имеющей вид стопки плоских цистерн и пузырьков, белки подвергаются обработке ферментами и сортируются, причём каждый тип конечного белкового продукта попадает в отдельный пузырёк, формирующийся за счёт выпячивания мембраны цистерн комплекса Гольджи.

Отшнуровавшиеся от комплекса Гольджи пузырьки с пищеварительными ферментами представляют собой лизосомы. Пузырьки с секреторными продуктами транспортируются к наружной плазматической мембране, где их мембрана сливается с плазматической мембраной, а содержимое изливается наружу. Выстраивается цепочка транспортировки продуктов от места их производства через место

доводки и сортировки (комплекс Гольджи) к конечной станции (плазматическая мембрана, фагоцитарная вакуоль и др.).

Движение мембранных пузырьков в цитоплазме осуществляется с помощью белков — молекулярных моторов (подробнее об этом см. в § 63). Эти же белки могут составлять отдельные нити (фибриллы) или трубчатые структуры (микротрубочки), которые вместе с другими фибриллярными белками образуют внутренний каркас клетки — **цитоскелет**.

В новый портфель

Все живые существа, несмотря на их многообразие, имеют клеточное строение. Это свидетельствует о единстве живого. Клетки эукариот состоят из ядра и цитоплазмы и ограничены снаружи плазматической мембраной. В цитоплазме клетки сосредоточены органеллы, каждая из которых выполняет свою функцию. Транспорт веществ в клетку осуществляется либо непосредственно через плазматическую мембрану, либо в виде окружённых мембраной пузырьков (пиноцитоз и фагоцитоз). В клетках существует система транспортировки продуктов в мембранных пузырьках, причём ключевую роль в этом процессе играет комплекс Гольджи. Генетический аппарат клетки представлен хромосомами, которые сосредоточены в ядре.

Митохондрии (рис. 44) имеются практически во всех клетках эукариот. Они обеспечивают процессы клеточного дыхания, в результате которого вырабатывается большая часть энергии, необходимой для поддержания жизнедеятельности клетки.

Ядро окружено ядерной оболочкой, состоящей из внутренней и наружной мембран. Ядерная оболочка пронизана порами. Через поры происходит основной обмен веществами между ядром и цитоплазмой. Пores оболочки ядра пропускают только определённые макромолекулы, так что состав жидкой среды ядра (кариоплазмы) отличается от состава окружающей ядро цитоплазмы. В кариоплазме концентрируются соединения, обеспечивающие нормальную работу генетического аппарата, который представлен хромосомами.

Хромосомы представляют собой нити ДНК, упакованные вместе с белками. Собственно хромосомы как оформленные структуры становятся заметными в световой микроскоп только в период деления клеток. Во время деления клетки хромосомы утолщаются и укорачиваются — спирализуются. Каждая из них имеет перетяжку — центромеру, которая может находиться посередине хромосомы или располагаться ближе к одному из её концов.

В ядрах клеток имеется одно или несколько *ядрышек*, в которых образуются рибосомы.

ДЕЛЕНИЕ КЛЕТОК ЭУКАРИОТ. Размножение клеток эукариот осуществляется путём их деления, в ходе которого дочерние клетки получают полные копии генетического материала родительской клетки. Этот процесс, который получил название **митоза**, состоит из нескольких последовательно сменяющих друг друга фаз (рис. 45).

В период между двумя делениями — в *интерфазе* — клетка реализует все функции, которые характерны для данного типа клеток (рис. 46). Во время интерфазы происходит репликация ДНК, которая приводит к удвоению хромосом. Ядрышко при этом исчезает. Каждая хромосома оказывается представленной двумя копиями, которые тесно связаны друг с другом. В интерфазе происходит и удвоение построенной из микротрубочек органеллы — центриоли.

В *профазе* митоза завершается спирализация хромосом. Ядерная оболочка разрушается. Центриоли расходятся к

Митохондрии называют «энергетическими станциями» клетки. Эти органеллы окружены двумя мембранами и имеют свою собственную кольцевую молекулу ДНК, рибосомы и могут самостоятельно делиться независимо от деления клетки.

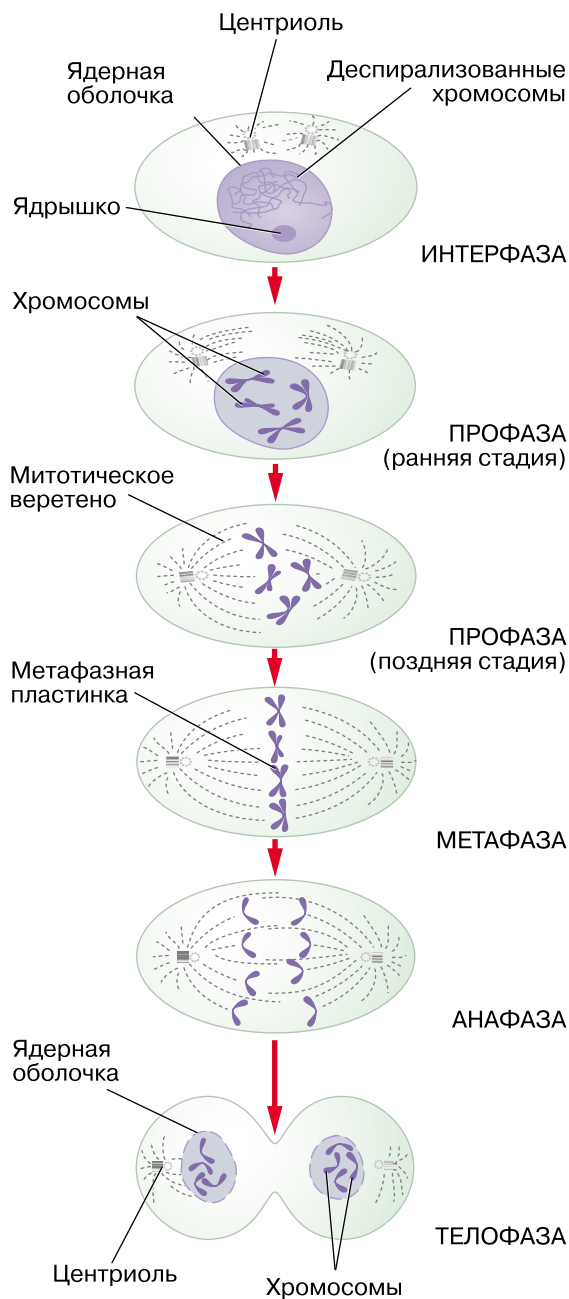


Рис. 45
Схема митоза



Рис. 46
Схема клеточного цикла

полюсам клетки, и между ними формируются состоящие из микротрубочек нити митотического веретена.

В *метафазе* хромосомы выстраиваются в экваториальной плоскости клетки и формируют так называемую *метафазную пластинку*. Часть нитей веретена присоединяется к хромосомам в области центромер.

Во время *анафазы* связь между двумя копиями одной хромосомы теряется, и каждая из них с помощью нитей веретена перемещается к противоположному полюсу клетки.

На завершающей стадии митоза (*телофаза*) вокруг каждой из образовавшихся на полюсах групп хромосом формируется ядерная оболочка. Параллельно происходит разделение цитоплазмы материнской клетки (*цитокинез*), причём в каждую из дочерних клеток попадает примерно одинаковое количество органелл материнской. Постепенно в формирующемся ядре происходит деспирализация хромосом, и появляется ядрышко. Клетка вступает в интерфазу.

Весь процесс митоза занимает в среднем 1—2 ч. Продолжительность его несколько различна для разных видов клеток.

Клетки разных тканей делятся с разной частотой. Так, например, у человека клетки скелетной мускулатуры не делятся совсем, клетки печени делятся один раз в несколько месяцев, а эпителиальные клетки кишечника делятся 1—2 раза в сутки. Чаще всего (каждые 10—12 ч) делятся клетки на ранних стадиях эмбрионального развития. А у аквариумной золотой рыбки деления во время развития икринки происходят каждые 2 мин!

ОБРАЗ ЖИЗНИ

Любому организму необходимо поддерживать солевой баланс. Недостаток или избыток солей в организме может оказать вредное влияние на его жизнедеятельность. Пища должна включать достаточное количество овощей и фруктов, содержащих минеральные соли. Недостаток солей можно восполнить приёмом специальных препаратов. Однако при этом необходимо соблюдать рекомендации врачей и правильную дозировку.

В новый портфель

При делении клеток (митоз) хромосомы удваиваются и распределяются между дочерними клетками так, что каждая из них получает копию генетического аппарата родительской клетки.

??

- ▷ Сформулируйте основные постулаты клеточной теории.
- ▷ Как работает транспортная система клетки?
- ▷ Какова роль органелл в организации процессов жизнедеятельности клетки?
- ▷ Каково участие различных структур клетки в процессе митоза?
- ▷ Почему клетку можно назвать биологической системой?

Урок-лекция

Какие чудеса открылись бы человеку, будь его глаза способны разглядеть очертания и движения мельчайших частиц в крови и других жидкостях организмов столь же отчётливо, как очертания и движения самих живых существ.

Дж. Локк



Чем различаются клетки животных и клетки растений? Каковы особенности организации и функционирования одноклеточных эукариот и клеток в составе многоклеточного организма? Как устроены клетки прокариот? Что представляют собой вирусы?

Клеточная стенка • Пластиды • Вакуоли • Дифференцировка клеток • Нуклеоид • Капсид

Ключевые слова

Строение растительной клетки. Ткани. Одноклеточные простейшие и водоросли. Бактерии и вирусы. Грибы. Растения. Животные. Биосфера (Биология, 6—9 кл.). Матричные РНК (мРНК) (см. § 30).

Из старого портфеля

РАЗЛИЧИЯ В СТРОЕНИИ ЖИВОТНОЙ И РАСТИТЕЛЬНОЙ КЛЕТКИ.

Общий план строения клетки эукариот в основном был рассмотрен на примере животной клетки. Организация растительной клетки имеет некоторые свои специфические черты (рис. 47).

Снаружи растительная клетка одета **клеточной стенкой**, которая состоит из нитевидных макромолекул углевода целлюлозы.

Наличие плотной клеточной стенки препятствует образованию перегородки при делении цитоплазмы клетки в телофазе митоза. Деление цитоплазмы на две части при митозе растительных клеток происходит путём формирования плазматической мембраны и клеточной стенки прямо внутри делящейся клетки — от центра к периферии.

В состав растительных клеток входят особые органеллы — **пластиды**. Они окружены двуслойной мембраной, содержат короткую кольцевую ДНК, рибосомы и способны к самостоятельному делению. В функциональном отношении большинство разновидностей пластид так или ина-

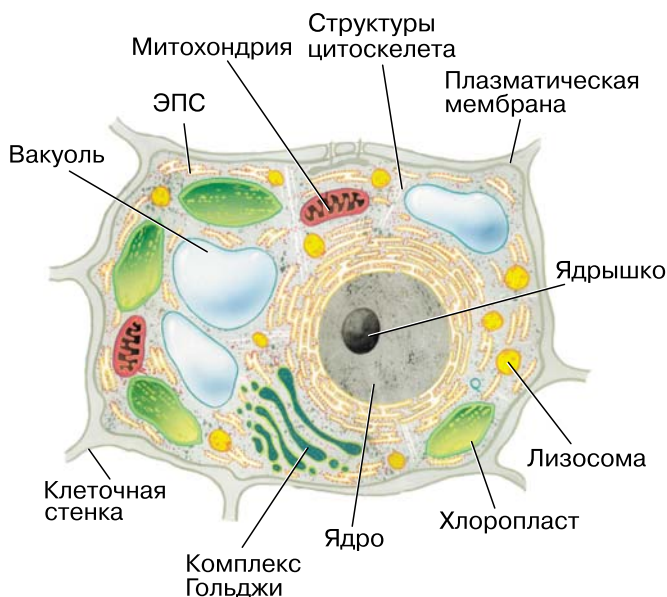


Рис. 47
Схема строения растительной клетки

Связь между соседними клетками у многоклеточных растений осуществляется благодаря тонким тяжам цитоплазмы, пронизывающим неуплотнённые участки клеточной стенки.

че связаны с энергетикой клетки. В первую очередь это хлоропласты, в которых осуществляются реакции фотосинтеза.

Различают три основных типа пластид: хлоропласты, хромопласты и лейкопласты. Хлоропласты содержат хлорофилл, каротиноиды и необходимые для фотосинтеза белки. В хромопластах нет хлорофилла, но они содержат каротиноиды — жёлтые, оранжевые и красные пигменты, которые определяют окраску цветков, плодов и некоторых корнеплодов (морковь). Лейкопласты бесцветны, в некоторых из них может синтезироваться и накапливаться крахмал, в других — жиры и белки. Лейкопласты при определённых условиях могут превращаться в хлоропласты и хромопласты, а хлоропласты — в хромопласты. С последним процессом связано осеннее изменение окраски листьев.

Антоцианы обеспечивают голубую и красную окраску плодов (слива, вишня, виноград, брусника, земляника) и лепестков цветков (василёк, герань, роза, пион). Кроме того, именно они окрашивают осенние листья в ярко-красный цвет.

В типичной растительной клетке имеется одна или несколько центральных **вакуолей**, которые при сильном развитии могут вытеснять всё остальное содержимое клетки на периферию. Вакуоли окружены мембраной, а их внутреннее содержимое различается в клетках разных типов. Это могут быть запасные питательные вещества (сахара, растворимые белки), растворы необходимых клетке солей, аминокислоты и др. В вакуоли же выводятся вредные продукты, образующиеся в результате обмена веществ, например щавелевая кислота. В вакуолях накапливаются и пигменты — антоцианы, которые могут придавать растениям широкий спектр оттенков — от розового до чёрно-фиолетового.

В новый портфель

Растительная клетка имеет принципиально то же строение, что и животная. Отличительной особенностью растительной клетки является наличие клеточной стенки, пластид и вакуолей.

КЛЕТКА КАК ОРГАНИЗМ И КЛЕТКА В СОСТАВЕ ОРГАНИЗМА. Вы уже знаете, что клетка может функционировать как самостоятельный организм либо входить в состав многоклеточного организма или колонии. Во всех этих случаях клетки обладают специфическими чертами. У одноклеточных эукариот имеются органеллы, которые необходимы им для самостоятельного существования и которые не встречаются у клеток многоклеточных организмов. Это могут быть пигментные глазки, клеточный рот (особый участок цитоплазмы, которым отдельные хищные простейшие захватывают добычу) и др.

В новый портфель

Клетки одноклеточных эукариот, помимо обычного набора органелл, обладают рядом специфичных структур, обеспечивающих их существование как самостоятельных организмов.

Основная черта клеток, формирующих многоклеточный организм, заключается в их специализации. Особенно отчётливо это проявляется на тканевом уровне организации высших растений и животных. Клетки каждой ткани строго дифференцированы, т. е. приспособлены к выполнению какой-либо одной основной функции или немногих функций, что определяет и их структурные особенности. Более того, такие клетки, как правило, теряют способность к размножению. Они функционируют определённое время, а затем погибают. В большинстве тканей имеется некоторый запас способных к делению недифференцированных клеток. Они производят новые клетки, которые, пройдя определённый этап **дифференцировки**, заменяют собой погибшие клетки данной ткани.

В новый портфель

В составе тканей клетки приспособлены к выполнению определённых функций. Эта специализация необратима, и пополнение тканей новыми клетками происходит в результате деления и последующей дифференцировки недифференцированных клеток.

СПЕЦИФИКА КЛЕТКИ ПРОКАРИОТ. Клетки прокариот (бактерий и архей) принципиально отличаются от рассмотренных нами клеток эукариотических организмов. Различия эти касаются отнюдь не размеров, которые для большинства бактерий составляют 1–10 мкм. Это вполне сопоставимо с размерами некоторых типов клеток эукариот. А вот строение и связанные с этим особенности функционирования прокариотической клетки оказываются совершенно иными (рис. 48).

Прежде всего у прокариот отсутствует не только оформленное ядро, но и все мембранные органеллы. Различия обнаруживаются и в строении мембраны, окружающей клетку. Поверх плазматической мембраны у прокариот формируется жёсткая клеточная стенка, обладающая избирательной проницаемостью. Часто поверх клеточной стенки имеется также *слизистая капсула*, которая служит дополнительной защитой от неблагоприятных факторов среды, в том числе предохраняет от высыхания.

Некоторые прокариоты снабжены жгутиками, которые не имеют ничего общего ни по строению, ни по особенностям функционирования с одноимённой структурой эукариот.

Наконец, генетический аппарат бактерий, так называемый **нуклеоид**, представлен замкнутой в кольцо молекулой ДНК. Нуклеоид прикреплён к внутренней стороне бактериальной мембраны. Перед началом деления бактерии происходит удвоение кольцевой ДНК и два образовавшихся нуклеоида «разъезжаются» по мембране в разные стороны. Затем мембрана и клеточная стенка впячиваются и перешнуровывают бактериальную клетку надвое. В каждой из образовавшихся клеток оказывается свой нуклеоид.



Рис. 48
Схема строения бактериальной клетки

Клетки прокариот лишены оформленного ядра и клеточных органелл. Снаружи клетку прокариот окружают плотная клеточная стенка и капсула, у некоторых видов имеются жгутики. Генетический аппарат прокариот представлен кольцевой молекулой ДНК, репликация которой предшествует делению бактерии.

**В новый
портфель**

НЕКЛЕТОЧНАЯ ФОРМА ЖИЗНИ — ВИРУСЫ. Впервые о существовании вирусов узнали в 1892 г., когда русский ботаник Д. И. Ивановский обнаружил, что заболевание табака — табачную мозаику вызывает возбудитель, проходящий через бактериальные фильтры, т. е. он существенно меньше бактерий по размеру. Действительно, размеры большинства вирусов находятся в пределах 15–300 нм. В простейшем случае вирус состоит из небольшой молекулы ДНК или РНК, окружённой защитной белковой оболочкой — **капсидом** (рис. 49).

Вирус способен существовать длительное время и при широком диапазоне внешних условий. Но самостоятельно воспроизводить себя вирусы не могут, поэтому основная задача вируса — это попасть в клетку-хозяина. Процесс этот может происходить случайно, например с жидкостью при пиноцитозе. Однако большинство вирусов способны распознавать именно те клетки, в которых они могут воспроизводиться.

Оказавшись в клетке-хозяине, вирусная ДНК начинает реплицироваться. С неё также считывается информация в виде мРНК, которая поступает на рибосомы, где и осуществляется синтез вирусных белков. По мере наработки белков капсида и нуклеиновых кислот вируса в цито-

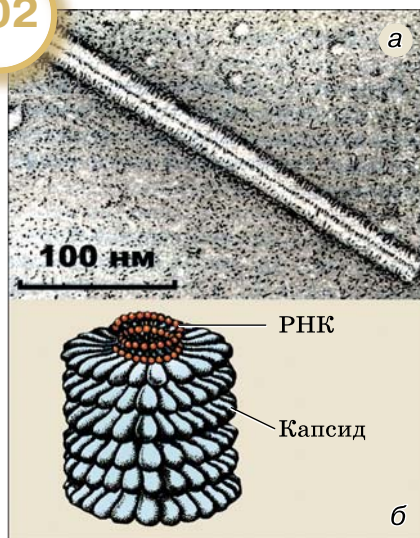


Рис. 49

Вирус табачной мозаики:
а — электронно-микроскопическая
фотография; б — модель

плазме клетки-хозяина происходит сборка вирусных частиц. Их накопление ведёт к гибели клетки-хозяина, она разрывается, и вирусные частицы выходят во внешнюю среду.

Последовательность событий, следующих за проникновением вируса в клетку-хозяина, может быть и иной. Оказалось, что при определённых условиях ДНК вируса не приступает к репликации в цитоплазме клетки-хозяина, а встраивается в её кольцевую ДНК (у бактерий) или в ДНК хромосом (у эукариот). Такая клетка с вирусной ДНК в геноме способна размножаться, причём в каждую дочернюю клетку попадает и ДНК вируса. Затем при каком-то внешнем воздействии (ультрафиолета или радиации) вирусная ДНК выходит из состава генома клетки-хозяина и приступает к производству вирусных частиц по описанной выше схеме.

Способность ДНК вируса встраиваться в геном клетки имеет целый ряд серьёзных последствий. Дело в том, что при выходе ДНК вируса из хромосомы или нуклеоида она может захватывать и прилежащие участки (гены) ДНК хозяина. Затем вместе с вирусной ДНК эти участки могут встраиваться в геном клеток другой особи (или даже особи другого вида), в которую проникнет вирус. Такой *горизонтальный перенос генетического материала* (в отличие от вертикального — от родителей детям) играет важную роль в эволюции организмов.

Определённые вирусы могут, встраиваясь в генетический материал клетки, вызывать наследственные нарушения его деятельности, передающиеся дочерним клеткам при делении. Часть таких нарушений приводит к изменению жизненного цикла клетки, и она начинает непрерывно делиться, формируя опухоль. Вирусы, обладающие такой способностью, называют *онкогенными*, или *онковирусами*. Кроме того, встраивание генетического материала вируса в ДНК клетки может провоцировать активацию некоторых её собственных генов (протоонкогены), что также приводит к перерождению клетки и формированию опухоли.

ОБРАЗ ЖИЗНИ

Многие вирусы и бактерии гибнут под воздействием ультрафиолетового излучения. Во время эпидемий, вызванных вирусами, полезно проводить кварцевание помещения. При отсутствии соответствующих приборов необходимо регулярно проветривать помещение и делать влажную уборку.

В новый портфель

Вирус представляет собой молекулу ДНК или РНК, окружённую белковой оболочкой. Воспроизводство вирусов возможно только в клетках-хозяевах. Вирусная ДНК способна встраиваться в геном хозяина, что может приводить к явлению горизонтального переноса генетической информации.

??

- Как вы думаете, почему скорость деления прокариотической клетки выше скорости деления клетки эукариот?
- Какова роль вирусов в природе?
- Почему в процессе эволюции клетки эукариот, а не прокариот заняли господствующее положение и дали начало огромному разнообразию форм жизни?

34 ПОПУЛЯЦИИ И ПРОЦЕССЫ ИХ РЕГУЛЯЦИИ

103

Урок-лекция

...Каждое единичное органическое существо, можно сказать, напрягает все свои силы, чтобы максимально увеличить свою численность...

Ч. Дарвин

?

Каковы основные признаки популяций? Как распределяются особи в популяции? Какие параметры определяют численность популяции? Что такое кривые выживания? Какие факторы влияют на изменение характеристик популяций?

Популяция • **Численность популяции** • **Плотность популяции** • **Рождаемость** • **Смертность** • **Плодовитость** • **Экологические факторы**

Ключевые слова

Популяция. Типы взаимодействия популяций (см. § 29; Биология, 9 кл.).

Из старого портфеля

ВАЖНЕЙШИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОПУЛЯЦИИ.

Продолжая знакомство с живыми системами, рассмотрим популяционно-видовой уровень их организации. **Популяция**, как мы определили в § 29, представляет собой совокупность особей одного вида на определённой территории.

Важнейший параметр популяции — это её **численность**. Поскольку посчитать всех особей данной популяции, как правило, невозможно, то для оценки численности в экологии принято оперировать понятием «плотность популяции». **Плотность популяции** — это число особей, приходящихся на единицу площади или объёма. Изменения численности популяции в первую очередь связаны с соотношением двух противоположных явлений — **рождаемости** и **смертности**. В меньшей степени на динамику численности популяции оказывают влияние процессы иммиграции и эмиграции. Рождаемость напрямую зависит от **плодовитости** особей, составляющих популяцию. Плодовитость определяют как число потомков, которых производит одна особь (одна женская особь у двуполых организмов) или в ходе одного размножения, или за всю свою жизнь. Значения этого параметра у особей разных видов различаются очень сильно.

Самки морских рыб (например, сельдь, треска) вымётывают миллионы мелких икринок и не проявляют ни малейшей заботы о них. В результате до взрослого состояния доживают единицы. А вот самка императорского пингвина откладывает в сезон размножения только одно яйцо, которое бережно согревается и охраняется самцом весь долгий период антарктической зимы. И после выклева птенца родители обеспечивают его кормом и обучают необходимым для самостоятельной жизни навыкам.



Анри Руссо. Джунгли на экваторе

Природа! Она изменяется вечно, не зная ни единой минуты покоя. Жизнь — прекраснейшая из её выдумок!

Смерть — художественный приём для создания новых жизней.

И. Гёте

Насколько слова Гёте отвечают вашему мироощущению?

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

Какая же стратегия размножения лучше: произвести огромное число малоприспособленных потомков при минимальном вкладе родителей в каждого из них («стратегия трески») либо же, наоборот, вложить всё в одного крупного и относительно хорошо приспособленного потомка («стратегия пингвина»)? В первом случае большинство вложенной родителями в размножение энергии тратится впустую, поскольку 99 % потомков не доживают до репродуктивного возраста, т. е. до возраста, когда организм способен к размножению. Во втором же случае гибель единственного потомка приводит к полной потере сезона размноже-

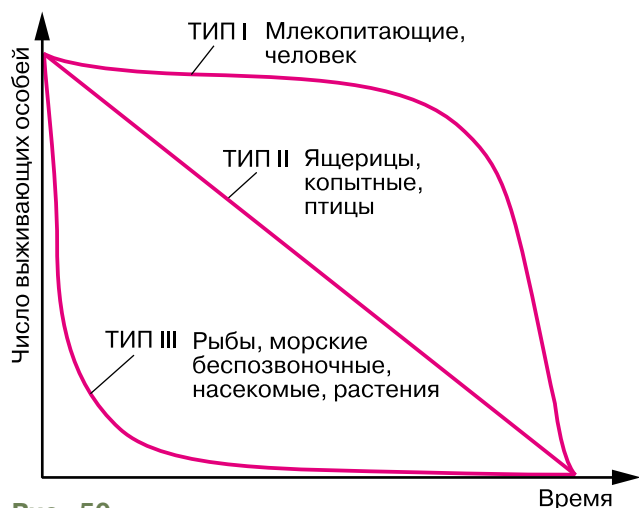


Рис. 50

Типы кривых выживания:

тип I — смертность до определённого возраста низкая, а затем чрезвычайно быстро возрастает; тип II — смертность относительно постоянна для разных возрастов; тип III — смертность на ранних стадиях развития очень высокая, а в более поздний период низкая

ния для родителей и может иметь катастрофические последствия для популяции, если произойдёт сразу у многих пар, да ещё и несколько лет подряд (например, при крайне неблагоприятных погодных условиях). Неудивительно, что стратегии размножения большинства живых существ располагаются между этими двумя крайностями. Замечено, что тяготение в сторону «стратегии пингвина» характерно для более высокоорганизованных животных.

Смертность тесно связана со стратегией размножения, характерной для особей данной популяции, и может быть графически представлена в виде кривых выживания (рис. 50). За точку отсчёта при построении этих кривых берут число новорождённых за тот или иной временной интервал (например, родившиеся в таком-то году), а затем рассчитывают процент особей этой группы, которые доживают до определённого возраста.

В новый портфель

Изменения численности популяции зависят от соотношения между рождаемостью и смертностью, которые, в свою очередь, тесно связаны со стратегией размножения, характерной для вида.

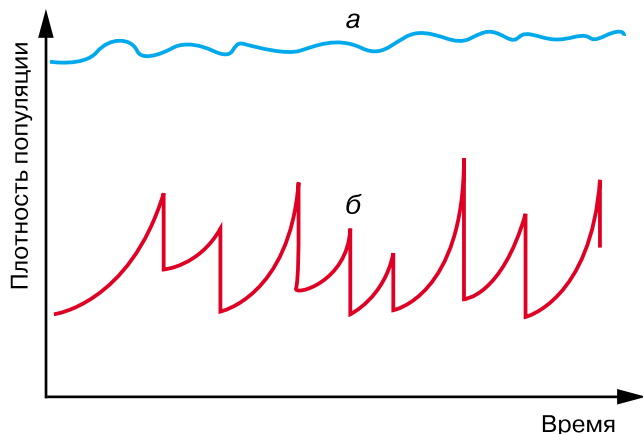


Рис. 51

Варианты изменения численности популяций: а — стабильная численность; б — всплески численности

РЕГУЛЯЦИЯ ЧИСЛЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ. Исследуя популяции живых организмов, учёные заметили, что некоторые из них длительное время сохраняют более или менее стабильную численность (рис. 51, а), другие же, напротив, испытывают периодические или случайные всплески численности (рис. 51, б). С чем это связано?

Обнаружилось, что численность популяций контролируется множеством экологических факторов, среди которых можно выделить не зависящие и зависящие от плотности популяции. К первым относят климатические факторы, катастрофы (пожар, извержение вулкана, засуха,

наводнение и т. п.), доступность мест обитания и др. А вот зависящие от плотности факторы всегда связаны с взаимодействиями живых существ. Это может быть внутривидовая конкуренция за пищу, убежища, места для гнездования и т. п.; могут быть и межвидовые взаимоотношения, такие, как воздействие хищников и паразитов, инфекционные заболевания. Действие этих факторов усиливается с увеличением плотности популяции и ограничивает её рост.

Колебания численности популяции могут быть непериодическими и периодическими. Первые носят непредвиденный характер. Определить вызвавшую их причину непросто, если речь не идёт о стихийных бедствиях (ураган, пожар и др.). Периодические колебания могут быть сезонными либо же иметь период в несколько лет. Последнее характерно для популяций многих грызунов (леммингов), полярной совы, песка, атлантического лосося, саранчи и др. Причины таких колебаний обычно связаны с каким-то периодически действующим фактором. Например, в Финляндии максимумы численности клеста наблюдаются с периодичностью в три года, что совпадает с урожаем еловых шишек, семенами которых клесты питаются.

Что произойдёт с популяцией при отсутствии сдерживающих рост её численности факторов? Легко догадаться, что численность популяции любого вида увеличивалась бы беспрестанно, пока не истощила бы все ресурсы окружающей среды.

Численность популяций живых организмов регулируется экологическими факторами. Различное сочетание этих факторов определяет наблюдающиеся в природе колебания численности популяций, которые носят непериодический или периодический характер.

**В новый
портфель**

ВЛИЯНИЕ ЧЕЛОВЕКА НА ДИНАМИКУ ЧИСЛЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ.

В настоящее время деятельность человека является одним из важнейших экологических факторов (не зависящим от плотности популяции), влияющих на численность популяций других видов. Для любой популяции существует определённая критическая численность; если число особей становится ниже этой величины, то популяция обречена на вымирание, так как все механизмы поддержания стабильности популяции перестают действовать. Какова же эта критическая величина? Она различна для разных видов. Например, на грани вымирания находятся обезьяны орангутаны, живущие на острове Суматра, хотя их численность составляет примерно 7500 экземпляров. С тех пор как натуралисты начали описывать растения и животных, с лица земли исчезло около 900 видов растений и животных, в большинстве случаев по вине человека. Есть о чём задуматься!

Для любой популяции (и вида, если его составляет одна или несколько малочисленных популяций) существует минимальный порог численности, ниже которого естественные механизмы поддержания оптимальной численности действовать уже не могут. Такая популяция или вид, если не принимать мер по охране, неминуемо вымрут.

**В новый
портфель**

??

- ▷ Какие явления лежат в основе изменения численности популяций?
- ▷ Что такое критическая численность популяции?
- ▷ Возможен ли в природе беспрестанный рост численности какой-либо популяции? Ответ поясните.

Природа — это неустанное сопряжение глаголов «есть» и «быть поедаемым».

У. Индж

?

Из каких основных компонентов состоят экосистемы? Что такое трофические цепи и трофические сети? Каковы особенности энергетики экосистем?

Ключевые
слова

Экосистема • **Продуценты** • **Консументы** • **Редуценты** •
Пищевые (трофические) цепи • **Трофический уровень** • **Биомасса** •
Пищевые сети • **Пирамиды численности, биомассы и энергии**

Из **старого**
портфеля

Экосистема (см. § 29; Биология, 9 кл.).

ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ЭКОСИСТЕМЫ. Рассмотрим теперь экосистемный уровень организации живых систем. **Экосистема** — совокупность совместно обитающих организмов и среды их обитания — представляет собой *элементарную функциональную единицу* живой природы. Все компоненты экосистемы взаимодействуют друг с другом, их объединяет в единое целое проходящий через экосистему поток вещества и энергии. Для каждой экосистемы характерна определённая среда (воздушная, водная, наземная), включающая климатический режим и определённый набор параметров (температура, влажность, химический состав почв, солёность воды и т. п.).

По роли, которую выполняют организмы в экосистеме, их подразделяют на три группы:

— **продуценты** — автотрофные организмы, главным образом зелёные растения, которые способны создавать органические вещества из неорганических;

— **консументы** — гетеротрофные организмы, преимущественно животные, которые питаются другими организмами или частичками органического вещества;

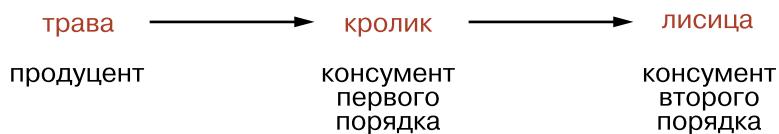
— **редуценты** — гетеротрофные организмы, преимущественно бактерии и грибы, обеспечивающие разложение органических соединений.

Окружающая среда и живые организмы взаимосвязаны процессами циркуляции вещества и потоком энергии. Основным источником поступающей в экосистему энергии — солнечный свет.

Продуценты улавливают солнечный свет и переводят его энергию в энергию химических связей синтезируемых ими органических соединений. Консументы, поедая продуцентов, используют высвобождающуюся при расщеплении этих химических связей энергию для построения своего собственного тела. Редуценты ведут себя аналогичным образом, но в качестве источника пищи используют либо мёртвые тела, либо продукты, выделяющиеся в процессе жизнедеятельности организмов. При этом редуценты разлагают сложные органические молекулы до простых неорганических соединений — углекислого газа, оксидов азота, воды, солей аммония и т. д. В результате они возвращают в окружающую среду вещества, изъятые из неё растениями, и эти вещества

могут вновь утилизироваться продуцентами. Цикл замыкается. Надо заметить, что все живые существа в определённой степени являются редуцентами. В процессе метаболизма они извлекают необходимую им энергию при расщеплении органических соединений, выделяя в качестве конечных продуктов углекислый газ и воду.

В экосистемах живые компоненты выстраиваются в цепочки — **пищевые**, или **трофические, цепи**, в которых каждое предыдущее звено служит пищей для последующего. Организмы, находящиеся на равном удалении от начала трофической цепи, относят к одному **трофическому уровню**. В основании трофической цепи находятся продуценты, которые из неорганического вещества и энергии света создают живое вещество — первичную **биомассу**. (Биомассой называют массу живых существ в какой-то момент времени на определённом участке земной поверхности.) Второе звено составляют потребляющие эту первичную биомассу *животные-фитофаги* — это консументы первого порядка. Они, в свою очередь, служат пищей для организмов, составляющих следующий трофический уровень, — консументов второго порядка. Далее идут консументы третьего порядка и т. д. Приведём пример простой цепи:



А вот пример более сложной цепи:



Далеко не все организмы, составляющие разные трофические уровни, оказываются съеденными, а консументы самого высокого порядка (медведи, львы, орлы и др.) вообще не имеют врагов (конечно, кроме человека). Значительная часть организмов гибнет в силу естественной смертности, от болезней, паразитов, природных катастроф и т. п. Поэтому в пищевые цепочки на всех уровнях, начиная со второго, включаются редуценты, которые питаются мёртвым органическим веществом.

В естественных экосистемах пищевые цепи не изолированы одна от другой, а тесно переплетены. Они формируют **пищевые сети**, принцип образования которых заключается в том, что каждый продуцент может служить пищей не одному, а многим животным-фитофагам, которые, в свою очередь, могут быть съедены разными видами консументов второго порядка и т. д. (рис. 52).

Пищевые сети составляют каркас экосистем, и нарушения в них могут приводить к непредсказуемым последствиям. Особенно ранимыми оказываются экосистемы с относительно простыми пищевыми цепями, т. е. те, в которых круг объектов питания конкретного вида узок (например, многие экосистемы Арктики). Выпадение одного из звеньев может повлечь за собой распад всей трофической сети и деградацию экосистемы в целом.

ТРОФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ЭНЕРГЕТИКА ЭКОСИСТЕМЫ. Зелёные растения улавливают 1—2 % попадающей на них энергии Солнца, преобразуя её в энергию химических связей. Консументы первого порядка усваивают около 10 % всей энергии, заключённой в поедаемых ими растениях. На каждом последующем уровне теряется 10—20 % энергии предыдущего. Подобная закономерность находится в полном

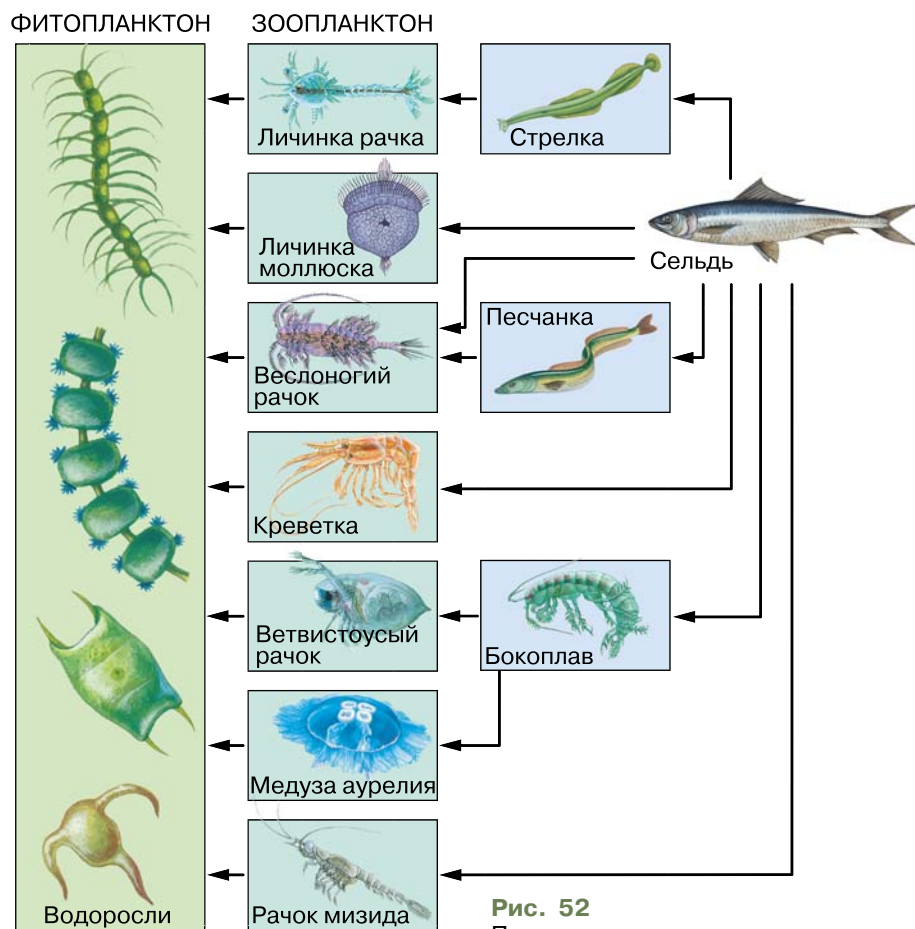


Рис. 52
Пищевая сеть сельди

соответствии со вторым законом термодинамики. Согласно этому закону при любых трансформациях энергии значительная её часть рассеивается в виде недоступной для использования тепловой энергии. Таким образом, энергия быстро убывает в пищевых цепях, что ограничивает их длину. С этим связано и уменьшение на каждом последующем уровне численности живых организмов и их биомассы. Однако это правило, как мы узнаем ниже, имеет ряд исключений.

В основе устойчивости каждой экосистемы лежит определённая трофическая структура, которая может быть отражена в виде **пирамид численности, биомассы и энергии**. При их построении значения соответствующих параметров для каждого трофического уровня изображаются в виде прямоугольников, поставленных друг на друга (рис. 53).

Форма пирамиды численности в значительной степени зависит от размеров организмов на каждом трофическом уровне, особенно продуцентов. Например, численность деревьев в лесу значительно ниже, чем травы на лугу.

Начиная с консументов первого порядка более или менее соблюдается правило, согласно которому размеры живых существ увеличиваются на каждом последующем трофическом уровне, хотя и здесь есть исключения: стая волков может загнать оленя или лося — добычу, значительно более крупную, чем каждый волк в отдельности.

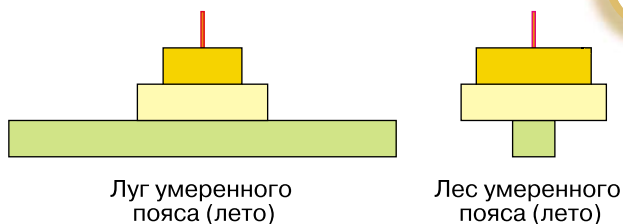
Пирамида биомассы лучше отражает реальную структуру экосистемы. Если размеры живых существ на разных трофических уровнях не слишком различаются, то можно получить ступенчатую пирамиду. Од-

нако в экосистемах с очень мелкими продуцентами (фитопланктон) и крупными консументами общая масса последних будет выше, и мы получим обращённую пирамиду. Такая картина типична для большинства морских и пресноводных экосистем.

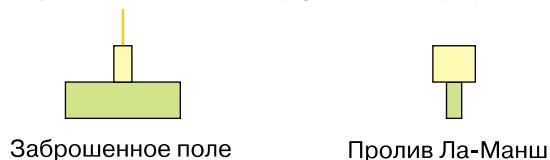
Пирамида энергии даёт наиболее полное представление о функциональной организации экосистемы. Число и масса организмов на каждом трофическом уровне зависят от обилия пищи на предыдущем уровне в данный момент времени. Поэтому пирамиды численности и биомассы отражают статику экосистемы, т. е. характеризуют число организмов на момент исследования. Пирамида же энергии отражает скорость прохождения пищи через трофическую цепь. Каждая её ступенька обозначает количество энергии (в пересчёте на единицу площади или объёма), прошедшей через определённый трофический уровень за определённый период. Пирамида энергии всегда имеет форму треугольника с вершиной, обращённой вверх, что связано с потерей энергии при переходе с одного трофического уровня на другой.

Изучение трофической структуры экосистем, особенно законов превращения энергии, имеет первостепенное значение для познания механизмов, которые лежат в основе обеспечения их стабильности. Без этого невозможно правильно рассчитать допустимые пределы воздействия на окружающую среду, выход за рамки которых нанесёт ей непоправимый ущерб.

Пирамиды численности особи на 0,1 га



Пирамиды биомассы (сухая масса), г/м²



Пирамида энергии, ккал/м² · год

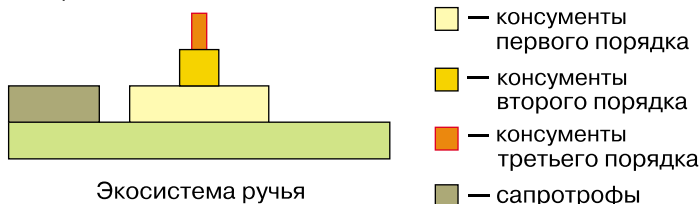


Рис. 53
Экологические пирамиды

**В новый
портфель**

??

- ▷ Объясните, почему возможно выделить общие компоненты в любой экосистеме.
- ▷ Что составляет основу взаимодействия компонентов экосистемы?
- ▷ Какое значение для устойчивости экосистемы имеет многообразие её компонентов?

Всё живое представляет неразрывное целое, закономерно связанное не только между собою, но и с окружающей косной средой биосферы.

В. И. Вернадский

?

Какие факторы обеспечивают целостность биосферы как глобальной экосистемы?

ЦЕЛЬ КОНФЕРЕНЦИИ. Осознать, что живое и неживое (косное) составляют неразрывное целое, развиваясь и функционируя в соответствии с общими экологическими закономерностями. Понять, в чём состоит принцип поддержания стабильности биосферы.

ПЛАН КОНФЕРЕНЦИИ

1. В. И. Вернадский и учение о биосфере.
2. Факторы, определяющие границы биосферы и распределение в ней живых организмов.
3. Эволюция биосферы и роль в этом процессе живых организмов. Биогеохимический круговорот.
4. Принципы сохранения стабильности биосферы.

Биосфера представляет собой высший иерархический уровень организации жизни на планете — это экосистема первого порядка, или *глобальная экосистема*. В её состав входят все экосистемы Земли, вместе с их биотическими и абиотическими компонентами, потоками вещества и энергии. Стабильное же существование любой экосистемы возможно только в том случае, если все её компоненты строго сбалансированы. Поэтому для поддержания стабильности глобальной экосистемы необходимо, чтобы в её состав входили сбалансированные экосистемы более низкого иерархического уровня. Иными словами, на Земле должно быть необходимое количество лесов, тундр, пустынь, болот и т. д., а внутри их должно сохраняться оптимальное число экосистем более низкого уровня вплоть до самых мелких (например, экосистемы трухлявого дерева в лесу или небольшого озерца в тундре). В этом залог стабильного существования биосферы и человека, который является её неотъемлемой частью и вне её пределов жить не может.

СООБЩЕНИЕ 1

Учение В. И. Вернадского о биосфере.

Центральным понятием разработанной В. И. Вернадским концепции биосферы является понятие живого вещества. Учёный показал, что совокупность всех живых организмов Земли образует единое целое — живое вещество биосферы, которое характеризуется массой, химическим составом, энергией и геохимической активностью.

Источники информации

1. Вернадский В. И. Живое вещество и биосфера / В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. [Электронный ресурс]: <http://vernadsky.lib.ru/e-texts/>
2. Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера / В. И. Вернадский. — М.: Айрис-пресс, 2012.
3. Реймерс Н. Ф. Азбука природы: микроэнциклопедия биосферы / Н. Ф. Реймерс. — М.: Знание, 1980.

СООБЩЕНИЕ 2

Границы биосферы и факторы, их лимитирующие. Причины неравномерного заселения биосферы.

Количество живого вещества на планете невелико по сравнению с количеством неорганического вещества и составляет лишь 1/11 000 000 часть массы земной коры. Выдающийся норвежский учёный В. Гольдшмидт приводил такой пример: если литосферу представить в виде каменной чаши массой 6 кг, то гидросфера поместилась бы в этой чаше и имела бы массу 500 г. Атмосфера имела бы массу медной монеты, а всё живое вещество — почтовой марки. Между литосферой, гидросферой и атмосферой идёт постоянный обмен веществом, т. е. процесс миграции химических элементов. Во многом он связан с жизнедеятельностью организмов.

Источники информации

1. Биология: энциклопедический словарь школьника / сост. П. Кошель. — М.: ОЛМА-пресс, 2001.
2. Вернадский В. И. Живое вещество и биосфера / В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. [Электронный ресурс]: <http://vernadsky.lib.ru/e-texts/>
3. Лапо А. В. Следы былых биосфер / А. В. Лапо. — М.: Знание, 1987.
4. Реймерс Н. Ф. Азбука природы: микроэнциклопедия биосферы / Н. Ф. Реймерс. — М.: Знание, 1980.

СООБЩЕНИЕ 3

Роль живых организмов в формировании и эволюции биосферы. Биогеохимический круговорот веществ в биосфере.

Источники информации

1. Алексеенко В. А. Жизнедеятельность и биосфера / В. А. Алексеенко. — М.: Логос, 2005.
2. Вернадский В. И. Живое вещество и биосфера / В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994. [Электронный ресурс]: <http://vernadsky.lib.ru/e-texts/>
3. Камшилов М. М. Эволюция биосферы / М. М. Камшилов. — М.: Наука, 1979.
4. Реймерс Н. Ф. Азбука природы: микроэнциклопедия биосферы / Н. Ф. Реймерс. — М.: Знание, 1980.

СООБЩЕНИЕ 4

Факторы, приводящие к разрушению биосферы, и условия для её сохранения.

Источники информации

1. Алексеенко В. А. Жизнедеятельность и биосфера / В. А. Алексеенко. — М.: Логос, 2005.
2. Блинов Л. Н. Экологические основы природопользования / Л. Н. Блинов, И. Л. Перфилова, Л. В. Юмашева. — СПб.: Дрофа, 2004.
3. Гурова Т. Ф. Основы экологии и рационального природопользования: учеб. пособие / Т. Ф. Гурова, Л. В. Назаренко. — М.: Оникс, 2005.
4. Небел Б. Наука об окружающей среде / Б. Небел. — М.: Мир, 1993.
5. Сытник К. М. Биосфера. Экология. Охрана природы / К. М. Сытник, А. В. Брайан, А. В. Городецкий. — Киев, 1987.

Слова для поискового запроса: биосфера, ноосфера, живое вещество, экосистема.

Живые существа оказывают преобразующее действие на планету, формируя её особую сферу — биосферу. Между биотической и абиотической частями биосферы происходит постоянный обмен химическими элементами — биогеохимический круговорот. Стабильность биосферы прямо связана со стабильностью составляющих её экосистем.

**В новый
портфель**

37 НАИБОЛЕЕ ОБЩИЕ ЗАКОНЫ ПРИРОДЫ. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

Урок-лекция

Закон природы — изменяться,
И потому лишь постоянство странно.

Граф Рочестерский

?

В чём смысл закона сохранения энергии? Какие виды энергии существуют? В чём смысл закона сохранения импульса? Что такое момент импульса? Как проявляется закон сохранения момента импульса?

Ключевые
слова

Энергия • **Замкнутая система** • **Импульс** • **Закон сохранения импульса** • **Момент импульса** • **Закон сохранения момента импульса**

Из старого
портфеля

Импульс. Закон сохранения импульса. Работа. Мощность. Кинетическая энергия. Потенциальная энергия взаимодействующих тел. Закон сохранения механической энергии. Закон сохранения энергии в тепловых процессах (Физика, 7—9 кл.).

Законы природы изучают различные науки: физика, химия, биология и др. Каждая наука рассматривает законы, применимые только к ограниченному кругу природных явлений. Однако существуют некоторые общие законы природы, которые, как показывает опыт, справедливы для любых объектов, для любых явлений и процессов. К таким законам относятся законы сохранения.

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ. Одним из понятий, играющих важную роль во всех естественных науках, является понятие **энергия**.

Общее определение энергии — это способность тела или системы тел совершать работу. (Поскольку одно тело тоже можно рассматривать как систему, далее мы везде будем говорить о системе тел или просто системе.) При совершении системой работы над внешними по отношению к ней телами её энергия уменьшается. Если же, наоборот, над системой совершается работа внешними телами, энергия системы увеличивается. **Замкнутой системой** называют систему, не взаимодействующую с окружающими её телами, не входящими в эту систему. Такая система, естественно, не может совершать какой-либо (положительной или отрицательной) работы над внешними телами.

Следует понимать, что понятие «замкнутая система» есть идеализированное понятие. Любая реальная система всегда взаимодействует с телами окружающего мира. Однако если совершаемая при этом работа мала, то систему приближённо можно рассматривать как замкнутую.

Энергия может принимать различные виды. В механике различают потенциальную и кинетическую энергии, которые могут переходить друг в друга, например при движении груза на пружине. Сумму кинетической и потенциальной энергий называют механической энергией. Механическая энергия может приближённо сохраняться, однако при наличии сил трения или неупругой деформации переходит во внутреннюю энергию. Внутренняя энергия, как вы знаете, есть энергия микрочастиц, составляющих вещество. Обратный процесс — переход внутренней энергии в механическую — происходит в тепловых двигателях.

С электрическими и магнитными силами связана своя энергия, которая в конечном итоге является энергией электромагнитного поля. Эта энергия может переходить во внутреннюю (вспомните закон Джоуля—Ленца).

Внутренняя энергия и химическая энергия связаны с движением микрочастиц и полей. Поэтому на фундаментальном уровне любая энергия сводится к кинетической энергии частиц, составляющих вещество, и энергии фундаментальных полей.

Энергия замкнутой системы сохраняется, т. е. остаётся неизменной во времени при любых процессах, происходящих внутри системы. Различные виды энергии могут переходить друг в друга.

**В новый
портфель**

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА. Вспомните, что такое импульс и в чём заключается закон сохранения импульса.

Импульс характеризует инерционность поступательного движения тела. Чем больше импульс тела, тем труднее тело остановить — нужно прикладывать большую силу в течение большего времени. При скоростях, много меньших скорости света, импульс тела равен произведению массы тела на его скорость. Импульс системы тел равен векторной сумме импульсов всех тел, входящих в систему.

Импульс системы изменяется под действием сил. Однако изменить его могут только внешние силы, т. е. силы со стороны тел, не входящих в систему. Внутренние силы не могут изменить импульса системы. Именно поэтому никакой Мюнхгаузен не может вытащить себя за волосы из болота.

Закон сохранения импульса так же универсален, как и закон сохранения энергии. В силу этого закона, для того чтобы тело начало двигаться, ему необходимо начать взаимодействовать с какими-то внешними телами, «от чего-то оттолкнуться». В частности, все живые организмы, совершая движение, отталкиваются от поверхности земли, воды или воздуха. В безвоздушном пространстве, где оттолкнуться не от чего, для совершения движения приходится часть системы сделать внешними телами и «оттолкнуться от них». Именно таким образом происходит реактивное движение: газы, вылетающие из двигателя, становятся внешними телами, которым передаётся импульс. Принцип реактивного движения задолго до появления реактивных двигателей использовали живые организмы. Так, например, каракатица передвигается, выталкивая из себя воду, подобно водомётному двигателю, устанавливаемому на катерах.

Как вы знаете, поля тоже могут обладать импульсом и при взаимодействии с веществом приводить его в движение.

Для замкнутой системы внешние силы отсутствуют. Импульс замкнутой системы сохраняется, т. е. остаётся неизменным со временем.

**В новый
портфель**

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МОМЕНТА ИМПУЛЬСА. Момент импульса характеризует инерционность вращательного движения тела. Простейшим примером вращательного движения является движение планеты по круговой орбите вокруг Солнца. В этом случае момент импульса планеты определяется по формуле $L = mvr$. Для круговой орбиты и скорость, и радиус остаются неизменными, поэтому сохранение момента импульса очевидно. Однако момент импульса сохраняется и при движении какого-либо космического тела, например кометы, по вытянутой эллиптической орбите. В этом случае момент импульса определяется по формуле $L = mvr \sin \alpha$, где α — угол между вектором скорости тела и направлением на Солнце (рис. 54). Из закона сохранения момента импульса следует, что при приближении кометы к Солнцу (радиус r

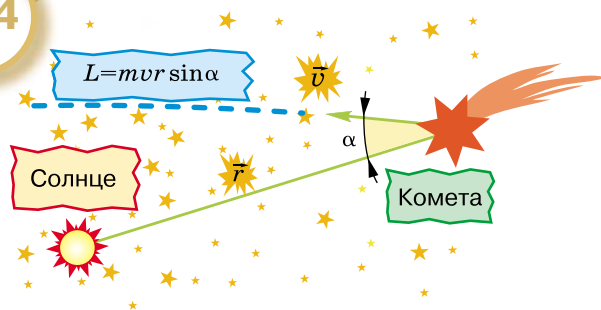


Рис. 54
Определение момента импульса кометы

уменьшается) скорость кометы увеличивается.

Момент импульса системы тел определяется как сумма моментов импульса каждого из тел.

Закон сохранения момента импульса позволяет фигуристу быстро увеличивать скорость вращения, прижимая руки к телу. (Попробуйте объяснить это самостоятельно, используя выражение для момента импульса.)

Огромную роль играет закон сохранения момента импульса в процессах, происходящих в микромире.

Все частицы микромира, как составные, так и элементарные, обладают моментом импульса. Причём у элементарных частиц момент импульса, связанный с «вращением вокруг своей оси», который называется *спином*, всегда кратен значению $\hbar/(4\pi)$. Кавычки в данном случае означают, что это вращение нельзя наблюдать иначе как только через проявление момента импульса. Закон сохранения момента импульса в значительной степени ограничивает разнообразие химических и ядерных реакций.

В новый портфель

В замкнутой системе момент импульса сохраняется т. е. остаётся неизменным со временем.

ДРУГИЕ ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ. Из курса физики вы знаете, что полный электрический заряд замкнутой системы сохраняется. Этот закон также является фундаментальным законом природы.

Помимо точных законов сохранения, существуют и законы сохранения, выполняющиеся лишь приближённо. Например, масса вещества до реакции лишь приблизительно равна массе вещества после реакции. Согласно теории относительности Эйнштейна имеет место общая формула, связывающая *дефект масс* Δm (разность масс до и после реакции) и энергию E , выделяющуюся или поглощающуюся в ходе реакции: $E = \Delta mc^2$ (c — скорость света). При этом выделение энергии приводит к уменьшению массы, а поглощение — к увеличению. Для химических реакций дефект масс оказывается пренебрежимо малым и его невозможно зафиксировать. Но для ядерных реакций получено прекрасное экспериментальное подтверждение теории.

В новый портфель

Законы сохранения, такие, как закон сохранения энергии, закон сохранения импульса, закон сохранения момента импульса, закон сохранения заряда, являются фундаментальными законами природы. Им подчиняются все природные процессы.

??

- ▶ Может ли энергия сохраняться в незамкнутой системе?
- ▶ Как на основе закона сохранения импульса объяснить трудность движения по скользкому льду?
- ▶ При некоторых прыжках с вышки в воду спортсмен вначале, группируясь, быстро вращается, а затем распрямляется, и вращение замедляется. Объясните рациональность движений спортсмена.

Урок-лекция

Преизобильноеращение тучных деревьев, которые на бесплодном песку корень свой утвердили, ясно изъявляет, что жирными листьями жирный тук из воздуха впитывают...

М. В. Ломоносов

?

Как энергия запасается в клетке? Что такое метаболизм? В чём суть процессов гликолиза, брожения и клеточного дыхания? Какие процессы проходят во время световой и темновой фаз фотосинтеза? Как связаны процессы энергетического и пластического обмена? Что представляет собой хемосинтез?

АТФ • Энергетический обмен • Пластический обмен • Метаболизм • Гликолиз • Брожение • Клеточное дыхание • Фотосинтез • Хемосинтез

Ключевые слова

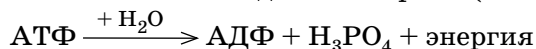
Молекулярная структура живого. Строение клетки. Жизнедеятельность растений и животных (см. § 30—33; Биология, 9 кл.).

Из старого портфеля

Способность преобразовывать одни виды энергии в другие (энергию излучения в энергию химических связей, химическую энергию в механическую и т. п.) относится к числу фундаментальных свойств живого. Сейчас мы подробно рассмотрим, каким образом в живых организмах реализуются процессы преобразования энергии.

АТФ — ГЛАВНЫЙ ПЕРЕНОСЧИК ЭНЕРГИИ В КЛЕТКЕ. Для осуществления любых проявлений жизнедеятельности необходима энергия. Автотрофные организмы получают исходную энергию в ходе реакций фотосинтеза и хемосинтеза, гетеротрофные же в качестве источника энергии используют органические соединения, поступающие с пищей. Энергия запасается клетками в химических связях молекул **АТФ** (аденозинтрифосфат), которые представляют собой нуклеотид, состоящий из остатка азотистого основания (аденина), остатка сахара (рибозы) и трёх фосфатных групп (рис. 55).

Связи между остатками фосфорной кислоты получили название *макроэргических*, поскольку при их разрыве выделяется большое количество энергии. Обычно клетка извлекает энергию из АТФ, отщепляя только концевую фосфатную группу. При этом образуется АДФ (аденозиндифосфат), фосфорная кислота и освобождается энергия (около 30 кДж/моль):



АТФ играет роль универсального биологического аккумулятора энергии в клетке. Молекулы АТФ поставляются к месту протекания энергоёмкого процесса, будь то ферментативный синтез органических соединений, работа белков — молекулярных моторов или мембранных транспортных белков и др. Обратный синтез молекул АТФ осуществляется путём присоединения фосфатной группы к АДФ с поглощением энергии. За-

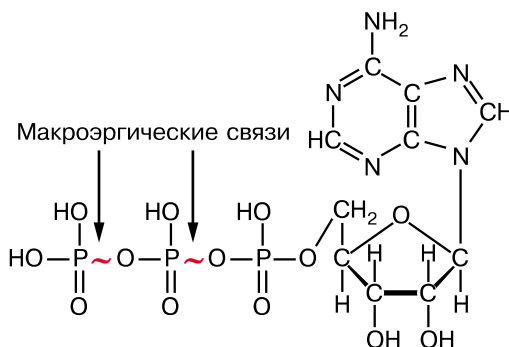
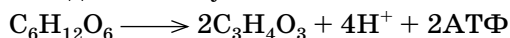


Рис. 55
Молекула АТФ

пасание клеткой энергии в виде АТФ осуществляется в ходе реакций **энергетического обмена**. Он тесно связан с **пластическим обменом**, в ходе которого клетка производит необходимые для её функционирования органические соединения.

ОБМЕН ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ В КЛЕТКЕ (МЕТАБОЛИЗМ). **Метаболизм** — это совокупность всех реакций пластического и энергетического обмена, связанных между собой. В клетках постоянно идёт синтез углеводов, жиров, белков, нуклеиновых кислот. Синтез соединений всегда происходит с затратой энергии, т. е. при обязательном участии АТФ. Источниками энергии для образования АТФ служат ферментативные реакции окисления поступающих в клетку белков, жиров и углеводов. В ходе этого процесса высвобождается энергия, которая аккумулируется в АТФ. Особую роль в энергетическом обмене клетки играет окисление глюкозы. Молекулы глюкозы претерпевают при этом ряд последовательных превращений.

Первый этап, получивший название **гликолиза**, проходит в цитоплазме клеток и не требует кислорода. В результате последовательных реакций с участием ферментов глюкоза распадается на две молекулы пировиноградной кислоты. При этом расходуются две молекулы АТФ, а высвобождающейся при окислении энергии достаточно для образования четырёх молекул АТФ. В итоге энергетический выход гликолиза невелик и составляет две молекулы АТФ:

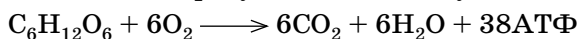


В анаэробных условиях (при отсутствии кислорода) дальнейшие превращения могут быть связаны с различными типами **брожений**.

Всем известно *молочнокислое брожение* (скисание молока), которое происходит в результате деятельности молочнокислых бактерий. По механизму оно сходно с гликолизом, только конечным продуктом здесь является молочная кислота. Этот тип окисления глюкозы происходит в клетках при дефиците кислорода, например в интенсивно работающих мышцах. Близко по химизму к молочнокислому и *спиртовое брожение*. Различие заключается в том, что продуктами спиртового брожения являются этиловый спирт и углекислый газ.

Следующий этап, в ходе которого пировиноградная кислота окисляется до углекислого газа и воды, получил название **клеточного дыхания**. Связанные с дыханием реакции проходят в митохондриях растительных и животных клеток, и только при наличии кислорода. Это ряд химических превращений до образования конечного продукта — углекислого газа. На различных этапах такого процесса образуются промежуточные продукты окисления исходного вещества с отщеплением атомов водорода. При этом освобождается энергия, которая «консервируется» в химических связях АТФ, и образуются молекулы воды. Становится понятным, что именно для того, чтобы связать отщеплённые атомы водорода, и требуется кислород. Данный ряд химических превращений достаточно сложный и происходит с участием внутренних мембран митохондрий, ферментов, белков-переносчиков.

Клеточное дыхание имеет очень высокую эффективность. Происходит синтез 30 молекул АТФ, ещё две молекулы образуются при гликолизе, и шесть молекул АТФ — как результат превращений продуктов гликолиза на мембранах митохондрий. Всего в результате окисления одной молекулы глюкозы образуется 38 молекул АТФ¹:



В митохондриях происходят конечные этапы окисления не только сахаров, но и белков и липидов. Эти вещества используются клетками,

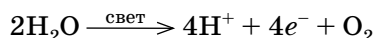
¹ По данным последних исследований, при полном окислении одной молекулы глюкозы образуется 32 молекулы АТФ.

главным образом когда подходит к концу запас углеводов. Вначале расходуется жир, при окислении которого выделяется существенно больше энергии, чем из равного объёма углеводов и белков. Поэтому жир у животных представляет собой основной «стратегический резерв» энергетических ресурсов. У растений же роль энергетического резерва играет крахмал. При хранении он занимает значительно больше места, чем энергетически эквивалентное ему количество жира. Для растений это не служит помехой, поскольку они неподвижны и не носят, как животные, запасы на себе. Извлечь же энергию из углеводов можно гораздо быстрее, чем из жиров. Белки выполняют в организме многие важные функции, поэтому вовлекаются в энергетический обмен только при исчерпании ресурсов сахаров и жиров, например при длительном голодании.

ФОТОСИНТЕЗ. Фотосинтез — это процесс, в ходе которого энергия солнечных лучей преобразуется в энергию химических связей органических соединений. В растительных клетках связанные с фотосинтезом процессы протекают в хлоропластах. Внутри этой органеллы находятся системы мембран, в которые встроены пигменты, улавливающие лучистую энергию Солнца. Основным пигмент фотосинтеза — хлорофилл, который поглощает преимущественно синие и фиолетовые, а также красные лучи спектра. Зелёный свет при этом отражается, поэтому сам хлорофилл и содержащие его части растений кажутся зелёными.

В фотосинтезе выделяют две фазы — световую и темновую (рис. 56). Во время *световой фазы* происходит собственно улавливание и преобразование лучистой энергии. При поглощении квантов света молекулы хлорофилла переходят в возбуждённое состояние и теряют наружные электроны. Эти электроны передаются от одного белкового комплекса к другому по цепи переносчиков электронов. Белки этой цепи, как и пигменты, сосредоточены на внутренней мембране хлоропластов. При переходе электрона по цепи переносчиков он теряет энергию, которая используется для синтеза АТФ и восстановления другого аккумулятора энергии — НАДФ (никотинамидадениндинуклеотидфосфат) в НАДФ·Н.

Под действием солнечного света в хлоропластах происходит также расщепление молекул воды — *фотолиз*; при этом высвобождаются электроны, которые возмещают потери их хлорофиллом, а в качестве побочного продукта образуется кислород:



Таким образом, функциональный смысл световой фазы заключается в синтезе АТФ и НАДФ·Н путём преобразования световой энергии в химическую.

Для реализации *темновой фазы* фотосинтеза свет не нужен. Суть проходящих здесь процессов заключается в том, что полученные в световую фазу молекулы АТФ и НАДФ·Н используются в серии химических реакций, «фиксирующих» углекислый газ (CO_2) в форме молекул углеводов. Все реакции темновой фазы осуществляются внутри хлоропластов, а освобождающиеся при «фиксации» углекислого газа АДФ и НАДФ вновь используются в реакциях световой фазы для синтеза АТФ и НАДФ·Н.

Суммарное уравнение фотосинтеза имеет следующий вид:

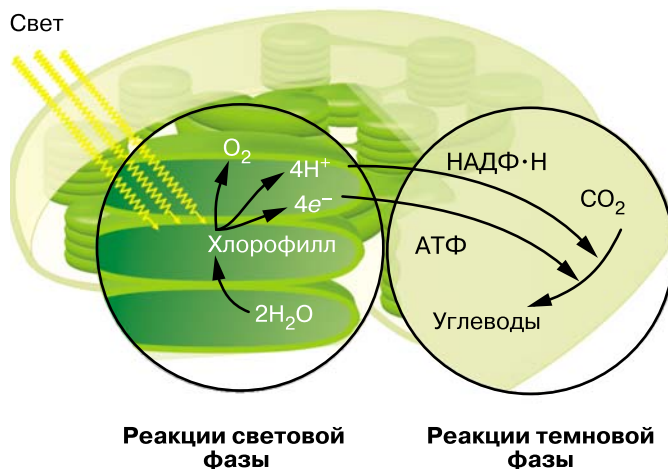
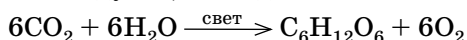
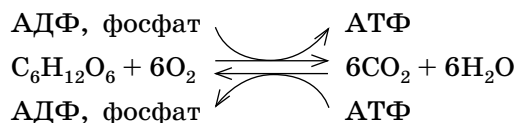


Рис. 56

Продукты реакций световой и темновой фаз фотосинтеза

ВЗАИМОСВЯЗЬ И ЕДИНСТВО ПРОЦЕССОВ ПЛАСТИЧЕСКОГО И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБМЕНА. Процессы синтеза АТФ происходят в цитоплазме (гликолиз), в митохондриях (клеточное дыхание) и в хлоропластах (фотосинтез). Все осуществляющиеся в ходе этих процессов реакции — это реакции энергетического обмена. Запасённая в виде АТФ энергия расходуется в реакциях пластического обмена для производства необходимых для жизнедеятельности клетки белков, жиров, углеводов и нуклеиновых кислот. Заметим, что темновая фаза фотосинтеза — это цепь реакций пластического обмена, а световая — энергетического.

Взаимосвязь и единство процессов энергетического и пластического обмена хорошо иллюстрирует следующее уравнение:



При чтении этого уравнения слева направо получается процесс окисления глюкозы до углекислого газа и воды в ходе гликолиза и клеточного дыхания, связанный с синтезом АТФ (энергетический обмен). Если же прочитать его справа налево, то получается описание реакций темновой фазы фотосинтеза, когда из воды и углекислоты при участии АТФ синтезируется глюкоза (пластический обмен).

ХЕМОСИНТЕЗ. К синтезу органических веществ из неорганических, кроме фотоавтотрофов, способны и некоторые бактерии (водородные, нитрифицирующие, серобактерии и др.). Они осуществляют такой синтез за счёт энергии, выделяющейся при окислении неорганических веществ. Этот процесс получил название **хемосинтеза**. Бактерий, осуществляющих хемосинтез, называют *хемоавтотрофами*. Хемосинтезирующие бактерии играют важную роль в биосфере, участвуя в круговороте азота, серы и других химических элементов.

В новый портфель

Клеточный метаболизм составляют реакции энергетического и пластического обмена. В ходе энергетического обмена происходит образование органических соединений с макроэргическими химическими связями — АТФ. Энергия АТФ расходуется на синтез необходимых клетке органических соединений в ходе реакций пластического обмена.

??

- ▷ В чём заключаются различия между пластическим и энергетическим обменом?
- ▷ Объясните, какое значение имеет гидролиз АТФ для пластического обмена.
- ▷ Как преобразуется энергия солнечных лучей в световую фазу фотосинтеза? Какие процессы проходят в темновую фазу фотосинтеза?
- ▷ Почему фотосинтез называют процессом отражения планетно-космического взаимодействия?

Урок-лекция

Ну как, хочешь жить в Зеркале, Китти?
Интересно, дадут ли тебе там молока?
Впрочем, не знаю, можно ли пить зеркальное молоко?
Не повредит ли оно тебе, Китти...

Л. Кэрролл



Какими свойствами симметрии обладают пространство и время и что следует из этих свойств? Что такое нарушенная симметрия и как она проявляется?

Трансляционная симметрия • **Однородность пространства** •
Изотропность пространства • **Зеркальная симметрия** •
Однородность времени • **Обращение времени** • **Нарушение симметрии**

Ключевые
слова

Закон всемирного тяготения (Физика, 7—9 кл.). Периодический закон и периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева. Биологически важные вещества: жиры, углеводы, белки (Химия, 7—9 кл.).

Из старого
портфеля

ВСТРЕЧА С СИММЕТРИЕЙ. Фундаментальность законов сохранения обусловлена связью этих законов со свойствами симметрии. С детства мы привыкли к симметрии зеркала. Зеркальный мир похож на наш и всё-таки чуть-чуть другой. Конечно, зеркальная симметрия только частный случай, виды симметрии очень разнообразны. Обратимся к нашему опыту осмысления феномена симметрии, используя возможности художественного способа познания мира.

В современной науке о микромире симметрия играет основополагающую роль. И вопрос Алисы из книги Л. Кэрролла «Алиса в Зазеркалье» (см. эпиграф к параграфу), как оказывается, вполне научный, на него не так просто ответить.

СИММЕТРИЯ ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ. Людям, недостаточно знакомым с понятием симметрии, может показаться странным, что наше обычное пространство обладает некой симметрией. Тем не менее оказывается, что эта симметрия весьма «богатая» и из неё вытекают важные следствия.

Трансляционная симметрия пространства заключается в следующем. Поставим некоторый опыт в данной области пространства, а затем проведём точно такой же опыт, перенеся всю нашу установку (приборы, объекты наблюдения и т. д.) в другую область пространства. Мы получим точно такие же результаты. Трансляционная симметрия пространства называется иначе **однородностью пространства**.

Это свойство кажется обычным и очевидным. Именно вследствие такой симметрии все наши приборы и механизмы, сделанные в одном месте, точно так же работают в другом месте. Но всегда ли это свойство выполняется?

Вы, конечно, знаете, что сила гравитационного притяжения к Земле уменьшается с высотой. Это означает, что если мы взвесим предмет на уровне океана и на высоте нескольких километров, то при точном взвешивании мы получим разные результаты. Однако этот факт ни в коей мере не противоречит трансляционной симметрии самого про-

пространства. Мы просто отодвинулись от тяготеющего тела — Земли. Чтобы убедиться в трансляционной симметрии пространства, мы должны одинаково переместить все тела, которые влияют на эксперимент (включая Землю), т. е. все тела, взаимодействующие с нашей установкой. Это возможно только при условии, что совокупность всех наших тел образует замкнутую систему.

Вспомните теперь, где вам встречалось понятие «замкнутая система». Конечно же, при формулировке законов сохранения. Оказывается, это не случайно. Можно строго доказать, что симметрия пространства и времени прямо связана с законами сохранения; из однородности пространства следует закон сохранения импульса.

Ещё одной симметрией пространства является симметрия пространства по отношению к повороту вокруг любой оси на любой угол. Другими словами, если мы проведём некоторый эксперимент, а затем повернём всю установку и объекты исследования, то получим тот же самый результат. Такая симметрия иначе называется **изотропностью пространства**. Из изотропности пространства следует закон сохранения момента импульса.

Важным свойством симметрии пространства является отражение относительно любой плоскости. Такая симметрия называется **зеркальной симметрией**. Но, может быть, и другие законы сохранения связаны с какой-нибудь симметрией? Современная теория даёт на этот вопрос утвердительный ответ.

Наверное, исходя из аналогии с однородностью пространства, вы и сами можете сформулировать, что такое **однородность времени**. Если мы поставим какой-то эксперимент в определённый промежуток времени, а затем через некоторое время повторим опыт, то получим тот же самый результат. Конечно же, по отношению к этой формулировке можно добавить те же слова о замкнутости системы, что и по отношению к однородности пространства. Попробуйте сами объяснить, почему однородности времени не противоречит тот факт, что опыт зимой и опыт летом могут дать разные результаты.

А нет ли зеркальной симметрии у времени? Оказывается, есть. Такая симметрия называется симметрией по отношению к **обращению времени**. Законы микромира в основном симметричны по отношению к обращению времени. И тем не менее мы не можем двигаться во времени назад, реально симметрия по отношению к обращению времени не наблюдается.

В новый портфель

Все законы сохранения прямо связаны с определённой симметрией. В частности, закон сохранения энергии связан с трансляционной симметрией времени (однородностью времени).

НАРУШЕННАЯ СИММЕТРИЯ. Вернёмся теперь к зеркальной симметрии. Конечно же, наше отражение в зеркале отличается от нас. У нашего «двойника» немного другая причёска, родинка не на правой, а на левой щеке. Ещё большая асимметрия во внутренних органах — сердце справа, полушария мозга также переместились справа налево. И всё же эта асимметрия носит случайный характер. Можно представить себе человека с зеркально симметричной причёской и родинкой. Да и сердце у некоторых индивидуумов, правда в виде исключения, может находиться справа.

Гораздо более важной оказывается асимметрия на молекулярном уровне. Например, наиболее распространённой формой двойной спирали молекулы ДНК является правозакрученная двойная спираль, т. е. молекула эквивалентна правому (обычному) винту (см. рис. 38). О подобной асимметрии мы уже рассказывали, она характерна и для других полимерных молекул, входящих в состав живых организмов, — белков, сахаров и др.

В такой асимметрии не было бы ничего странного, если бы законы, определяющие свойства и строение молекул, были также асимметричны.

Однако ядра атомов, электроны и электромагнитное взаимодействие, связывающее ядра и электроны в молекулу, обладают зеркальной симметрией, т. е., несмотря на исходную симметрию, в природных объектах проявляется зеркальная асимметрия. Это явление называют **нарушением симметрии**. Произошло такое нарушение, по-видимому, случайно на некотором этапе эволюции живой материи. Возможно, среди первичных простейших биологических систем были как правые, так и левые. Однако начиная с некоторого момента правые стали доминировать, а левые естественным отбором были отброшены.

Вследствие нарушения зеркальной симметрии в живой природе организм животных усваивает лишь молекулы сахаров и белков определённого типа симметрии и практически не усваивает соответствующие зеркально симметричные молекулы. Вспомним ещё раз эпиграф в начале параграфа: можно образно сказать, что обычной кошке «зеркальное молоко» оказалось бы бесполезным. Другое дело, если бы при перемещении кошки в Зазеркалье все составляющие её молекулы заменились бы на зеркально симметричные.

Подобное нарушение симметрии (необязательно связанное с зеркальным отражением) встречается, конечно, не только в объектах живой природы. Обычная жидкая вода обладает изотропными свойствами (подобно изотропности пространства). Эта изотропия пропадает при превращении воды в лёд. Кристаллики льда имеют выделенные направления, хотя исходные законы, по которым строится кристалл, обладают свойствами изотропии.

Упомянем ещё об одном нарушении симметрии в нашем мире. Как вы уже знаете, каждой элементарной частице соответствует своя античастица. Фундаментальные законы симметричны по отношению к замене частиц на античастицы. Это означает, что наряду с обычным веществом (положительное ядро и отрицательные электроны) может существовать и антивещество (отрицательное ядро и позитроны вместо электронов). Однако пока все астрономические данные свидетельствуют о том, что нигде в нашей Вселенной антивещество не наблюдается. В настоящее время предполагается, что симметрия между веществом и антивеществом была нарушена в первые доли секунды рождения Вселенной.

Явление нарушения симметрии заключается в том, что, несмотря на симметрию фундаментальных законов, описывающих некоторые объекты, в природе наблюдается асимметрия соответствующих объектов. Подобное нарушение симметрии часто встречается в природе.

**В новый
портфель**

??

- Приведите примеры симметричных объектов в природе.
- Какими свойствами симметрии обладает молекула водорода?
- Простейшая из молекул, не обладающих зеркальной симметрией, — молекула перекиси водорода ($\text{H}-\text{O}-\text{O}-\text{H}$). Попробуйте предложить конфигурацию молекулы, если известно, что углы между осью $\text{O}-\text{O}$ и обеими линиями $\text{O}-\text{H}$ одинаковы.

Круг и квадрат — вот буквы алфавита, применяемые авторами в качестве основы лучших произведений.

К.-Н. Леду

?

Как проявляется симметрия в произведениях искусства? Какое значение в искусстве имеет симметрия? Какие научные выводы можно сделать на основе симметрии?

Из старого портфеля

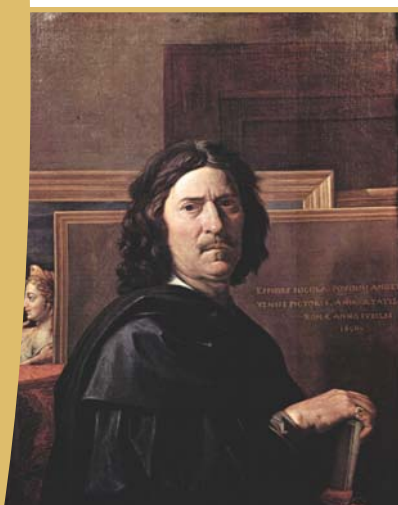
Закон всемирного тяготения (Физика, 7—9 кл.).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. На конкретных примерах, приведённых в параграфе, сделать выводы относительно роли симметрии в искусстве и науке.

ПЛАН РАБОТЫ

Последовательно выполняя задания, сформулировать выводы о том, насколько важно чувство симметрии в искусстве, и о том, что может дать симметрия в естественных науках.

1. Перед вами автопортрет французского художника XVII в. Н. Пуссена. Рассмотрите его. Как вам кажется на первый взгляд, можно ли назвать изображение симметричным? Приведите доказательства. А теперь попробуйте экспериментальным путём определить, где проходит ось симметрии. Обнаружили ли вы что-то странное? Предложите несколько вариантов ответа на вопрос: «Почему художник выбрал именно такое композиционное решение автопортрета?» Обсудите своё мнение с одноклассниками.



Никола Пуссен.
Автопортрет

2. Приведите примеры симметрии в архитектуре. Что, по-вашему, имел в виду архитектор К.-Н. Леду, чьё высказывание послужило эпиграфом к параграфу?

ПОДСКАЗКА

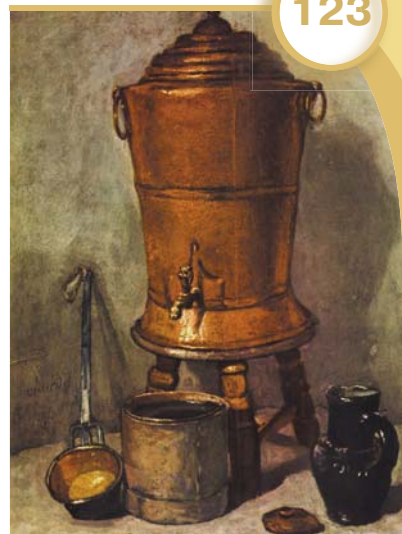
Круг и квадрат являются примерами симметричных фигур. В природе существует большое разнообразие симметричных объектов. Что значит симметрия некоторого объекта? Определение, которое мы дадим, не очень строгое, но простое для понимания. Если при некоторых преобразованиях объект переходит сам в себя, то он обладает свойствами симметрии относительно этих преобразований.

3. Изображение на картине Ж. Шардена «Медный бак» вообще кажется совершенно несимметричным, и всё-таки здесь тоже есть симметрия. Чтобы убедиться в этом, проведите несложный опыт. Сначала на иллюстрации прикройте изображение медного черпака с длинной ручкой (он изображён слева) и внимательно посмотрите на картину. Что произошло? Теперь повторите свои действия, но закройте глиняный кувшин

или небольшую крышку, которые автор расположил на полу справа. Вновь рассмотрите изображение. Что произошло на этот раз? Осмыслите свои впечатления и постарайтесь определить, о каком виде симметрии зритель вправе говорить. Обоснуйте свою точку зрения.

Ещё одним примером является сферически симметричный объект, который при поворотах на любой угол относительно любой оси, проходящей через центр симметрии, переходит сам в себя. Примером такого объекта может служить земной шар. Конечно же, земной шар лишь приближённо обладает сферической симметрией, однако в большинстве интересных исследователей случаев это приближение достаточно хорошее.

Оказывается, что из симметрии объектов можно, не производя каких-либо расчётов, вывести много важных свойств. Попробуйте, выполнив следующее задание, доказать, что гравитационная сила, действующая на некоторый объект со стороны Земли, всегда направлена к центру земного шара.



Жан Шарден. Медный бак

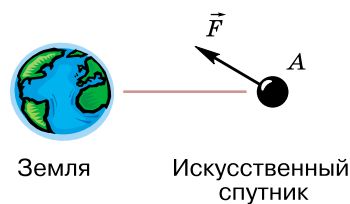
4. Предположим, что сила притяжения направлена не к центру Земли (рис. 57, а). Мысленно поверните Землю вокруг оси, соединяющей центр Земли и точку А, на 180° . Объясните, почему при таком повороте вектор силы должен повернуться так, как это показано на рисунке 57, б. Вспомните определение симметричного объекта и, отталкиваясь от противного, сформулируйте доказательство того, что гравитационная сила направлена к центру Земли.

ПОДСКАЗКА

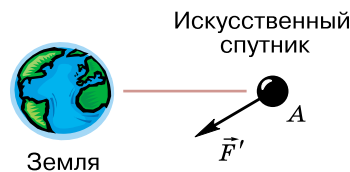
Доказательство того, что гравитационная сила в законе всемирного тяготения убывает обратно пропорционально квадрату расстояния, также следует из симметрии, правда, это доказывается несколько сложнее.

Как уже говорилось, симметрия в микромире играет большую роль, чем в макромире и мегамире. Это объясняется несколькими причинами. Первая из них — точная симметрия микроскопических объектов. Если земной шар лишь приближённо сферически симметричен, то свободный (ни с чем не взаимодействующий) атом имеет точную сферическую симметрию. Если макроскопическая гантель приближённо симметрична (вы сами можете попробовать установить, какие преобразования симметрии здесь имеют место), то эквивалентная ей по симметрии молекула воды обладает точной симметрией.

Во-вторых, в микромире действует дополнительная симметрия, о которой мы уже говорили в § 26. Все одинаковые объекты микромира полностью тождественны.



а



б

Рис. 57

Иллюстрация доказательства того, что сила гравитационного притяжения Земли направлена к центру земного шара

Зная симметрию объектов, можно вывести множество свойств этих объектов.

В новый
портфель

Ничто во всей Вселенной не существует,
Только их полёт. Полёт Земли, и звёзд полёт, и камня.
И он мои печали прочь несёт...

П. Элюар

?

Что такое материя? В чём проявляется материальное единство мира? Можно ли, изучая состав и движение космических тел, восстановить картину эволюции системы?

ЦЕЛЬ КОНФЕРЕНЦИИ. Привести и систематизировать факты, свидетельствующие о материальном единстве мира в контексте его эволюции.

ПЛАН КОНФЕРЕНЦИИ

1. Общие закономерности в движении и химическом составе тел Солнечной системы.
2. Единство химического состава объектов Вселенной. Результаты наблюдений.
3. Единство проявления физических законов во Вселенной.

Материальное единство мира, в котором мы живём, проявляется прежде всего в единстве химического состава объектов Вселенной. Практически все элементы таблицы Д. И. Менделеева обнаружены в объектах далёкого Космоса. Например, гелий был открыт в результате спектральных наблюдений Солнца, а затем уже найден и на Земле.

Другим свидетельством материального единства мира является подтверждённое наблюдениями единство законов природы, проявляющееся во Вселенной. В частности, единые свойства пространства-времени в наблюдаемом мире сопряжены по современным представлениям с непреложным выполнением законов сохранения энергии, импульса, момента импульса. Наконец, о материальном единстве мира свидетельствует наблюдаемое диалектическое единство и взаимодействие основных видов материи — вещества и поля. Единство мира проявляется также в том, что свойства нашего мира описываются мировыми константами: постоянными Больцмана, Планка, гравитационной, скорости света, которые входят в основные физические законы.

СООБЩЕНИЕ 1

Основные закономерности в Солнечной системе. Движение, строение и химический состав небесных тел. Анализ данных приведённой таблицы. Расстояния в Солнечной системе измеряют особой мерой — *астрономической единицей*: 1 а. е. = 149,6 млн км. Это среднее расстояние от Земли до Солнца. Радиус Земли 6378 км, масса Земли $5,97 \cdot 10^{24}$ кг.

Источники информации

1. Дайсаку И. Космос. Земля. Человек / [И. Дайсаку, А. Серебров]; под ред. Э. С. Бенц. — М.: Изд-во МГУ, 2011.
2. Куликовский П. Г. Справочник любителя астрономии / П. Г. Куликовский. — М.: URSS, 2013.

3. Гурштейн А. А. Извечные тайны неба/А. А. Гурштейн. — М.: Просвещение, 1984.
4. Попова А. П. Занимательная астрономия / А. П. Попова. — М.: URSS, 2012.

Слова для поискового запроса: Солнечная система, строение и состав небесных тел.

Планета	Расстояние от Солнца, а. е.	Период обращения вокруг Солнца, лет	Масса (масс Земли)	Средний экваториальный радиус (радиусов Земли)	Средняя плотность, г/см ³	Период вращения вокруг оси (земных суток)	Температура поверхности, К	Состав атмосферы
Меркурий	0,387	0,241	0,055	0,383	5,43	58,65	90—690	Практически отсутствует
Венера	0,723	0,615	0,815	0,949	5,24	−243,02	735	CO ₂ , N ₂
Земля	1,000	1,000	1,000	1,000	5,52	1,00	190—325	N ₂ , O ₂
Марс	1,524	1,881	0,107	0,533	3,94	1,03	150—260	CO ₂ , N ₂
Юпитер	5,204	11,868	317,830	11,209	1,33	0,4		H ₂ , He
Сатурн	9,583	29,666	95,159	9,449	0,70	0,44		H ₂ , He
Уран	19,187	84,048	14,500	4,007	1,30	−0,72		H ₂ , He
Нептун	30,021	164,491	17,204	3,883	1,76	0,67		H ₂ , He

СООБЩЕНИЕ 2

Единство химического состава объектов Вселенной.

Источники информации

1. Томилин А. Н. Тайны рождения звёзд и планет / А. Н. Томилин. — М.: Просвещение, 2008.
2. Хокинг С. Краткая история времени. От Большого взрыва до чёрных дыр / С. Хокинг. — СПб.: Амфора, 2010.
3. Шкловский И. С. Вселенная, жизнь, разум / И. С. Шкловский; под ред. Н. С. Кардашева, В. И. Мороза. — М.: Наука, 1987.
4. Чернин А. Д. Звёзды и физика/А. Д. Чернин. — М.: Либроком, 2012.

Слова для поискового запроса: вещество во Вселенной, химический состав небесных тел.

СООБЩЕНИЕ 3

Единство проявления физических законов во Вселенной.

Источники информации

1. Вайнберг С. Космология / С. Вайнберг. — М.: URSS, 2013.
 2. Томилин А. Н. Тайны рождения звёзд и планет / А. Н. Томилин. — М.: Просвещение, 2008.
 3. Чернин А. Д. Звёзды и физика / А. Д. Чернин. — М.: Либроком, 2012.
- Слова для поискового запроса:** космология, строение Вселенной.

**В новый
портфель**

Материальный мир един. Единство химического состава объектов Вселенной свидетельствует об общем происхождении и общих закономерностях эволюции. Во всей наблюдаемой Вселенной выполняются одни и те же законы, важнейшие из которых — законы сохранения.

ОБОБЩЕНИЕ И ОСМЫСЛЕНИЕ МАТЕРИАЛА ГЛАВЫ

Знание законов заключается не в том, чтобы помнить их слова, а в том, чтобы постигать их смысл.

Цицерон



Природа — единая развивающаяся система, состоящая из компонентов разных уровней организации, которые взаимодействуют друг с другом и влияют друг на друга. Это взаимодействие обеспечивает само существование жизни и многообразие её форм. Общая сущность природных процессов — внутренние изменения систем и трансформация энергии.

В природе всё подчиняется общим законам. Единство физических и химических процессов справедливо для всех проявлений жизни. Невозможно осуществить процессы, которые противоречат её законам.

Человек — компонент природы, закономерное природное явление. Как часть природы он подчиняется её законам. Практическая деятельность человека должна осуществляться на основе знания законов жизнедеятельности экосистем.

ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В ПРИРОДЕ. Наш мир богат разнообразными структурами. Это и гигантские структуры космических масштабов, и крошечные, не видимые глазом частицы. Все они состоят из вещества в разных формах. Но, кроме вещества, всю нашу Вселенную заполняют ещё и поля. Вещество и поля образуют материю нашего мира.

Помимо частных законов, описывающих, например, процессы в Солнечной системе, в атоме или в живом организме, существуют общие фундаментальные законы, которые применимы к любым структурам. Такими законами являются законы сохранения, тесно связанные с фундаментальными принципами симметрии, которые также оказываются важными для понимания устройства нашего мира.

Изучение природы сводится к исследованиям различных структур, их свойств и происходящих в них процессов.

ЗАДАНИЕ

Заполните таблицу, приводя примеры проявления фундаментальных законов и принципов в микро-, макро- и мегамире.

Микромир	Макромир	Мегамир
Законы сохранения		
Закон сохранения энергии		
Закон сохранения импульса		
Закон сохранения момента импульса		
Закон сохранения электрического заряда		
Взаимодействие основных видов материи (поля и вещества)		
Гравитационное взаимодействие		
Электромагнитное взаимодействие		
Принцип симметрии		

ПОДУМАЙТЕ И ОТВЕТЬТЕ

Выдающийся римский политический деятель, оратор и философ Марк Туллий Цицерон (106—43 гг. до н. э.) писал в одном из своих сочинений: «Вся природа стремится к самосохранению». Как вы понимаете эти слова Цицерона?

3

ГЛАВА

ОТ СТРУКТУРЫ К СВОЙСТВАМ

42 ДРЕВНЕГРЕЧЕСКАЯ АТОМИСТИКА: АТОМЫ И ЭЛЕМЕНТЫ

Урок-лекция

Нельзя не признать в атомизме
возвышенного обобщения...

Д. И. Менделеев

?

Что древнегреческие учёные подразумевали под природой? В чём отличие учения Аристотеля об элементах от атомистического подхода к объяснению явлений природы? На каком социокультурном фоне развивалось древнегреческое природознание?

Ключевые
слова

Древнегреческая атомистика • Элемент (стихия) • Элементарные качества

Из старого
портфеля

Представления древнегреческого философа Демокрита об атомах как мельчайших частицах вещества (Химия, 8—9 кл.). Древнегреческий учёный Аристотель. Древнегреческая комедия (История, 5 кл.).

ПРОБЛЕМА ПАРМЕНИДА. Представления о том, что все вещества состоят из мельчайших частиц — атомов, красной нитью проходят через всю историю естествознания. Зарождение атомистических представлений можно проследить в разных регионах мира, в частности в некоторых философских учениях Древней Индии III—I вв. до н. э. Но наиболее важную роль сыграла **древнегреческая атомистика**. Почему? Причин много. Одна из важнейших заключена в характере греческой науки о природе.

По определению Аристотеля, «природою в первом и основном смысле является сущность — именно сущность вещей, имеющих начало движения в самих себе как таковых».

Понимание природы как структуры, сущности вещей мира при всей его расплывчатости означало, что природные явления должны объясняться естественными, а не сверхъестественными, божественными причинами. Иными словами, греческая «наука о природе» была наукой о *естественных причинах* возникновения, развития и строения как мира в целом, так и его отдельных вещей. Аристотель назвал эту науку физикой, а тех, кто ею занимается, — физиологами или физиками.

Появление атомистики свидетельствует о достаточно высоком уровне мышления греков, поэтому было бы в корне неправильно представлять себе атомное учение как результат обобщения непосредственных наблюдений (пылинки в луче света, поднятый ветром песок и т. д.).

По свидетельству Аристотеля, атомистика возникла в процессе решения фундаментальной проблемы, поставленной Парменидом Элейским (ок. 540—450 гг. до н. э.), так называемой *проблемы Парменида*. Окружающий человека мир изменчив и многообразен. Но за этой

многокачественностью, подвижностью, изменчивостью мира скрываются некие неизменные *первоначала*. Например, существует множество органических соединений, но при всём их разнообразии между ними есть общее: все они в определённых условиях способны вступать в те или иные химические реакции, причём эта способность зависит от состава и строения вещества, от температуры и т. д. Этот пример сформулирован на языке современной науки. Парменид, разумеется, использовал иные слова. В иносказательной форме он поставил вопрос о нахождении *единого начала* (первоначала, первоматерии), неизменного и неуничтожимого в многообразии изменчивого, возникающего и преходящего. И он был прав: некое единство мира, не связанное с его качественным многообразием, существует. Древнегреческие мыслители предложили два ответа на вопрос Парменида.

АТОМЫ И ПУСТОТА. Первый ответ сводился к тому, что всё сущее построено из двух начал:

— начала неуничтожимого, неизменного, вещественного и оформленного;

— начала разрушения, изменчивости, невещественного и бесформенного.

Первое было названо *атомом*, второе — *пустотой*, т. е. ничем не наполненной протяжённостью.

Такой путь решения проблемы Парменида был предложен Левкиппом (V в. до н. э.) и Демокритом (ок. 460 — ок. 370 гг. до н. э.). Бытие, по их мнению, не едино, оно представляет собой бесконечное множество частиц, невидимых вследствие малости своих размеров, которые носятся в пустоте. Соединяясь, они приводят к возникновению вещей, а разъединяясь — к их гибели. Основа качественного многообразия мира — это многообразие геометрических форм и пространственных положений атомов, причём — и это очень важно — сами атомы лишены каких-либо качеств: «Причинами всех вещей являются определённые различия в атомах... а различий этих три: форма («схема»), порядок (величина, «таксис») и положение («тезис»)».

Таким образом, на место *качественной определённости* атома атомисты поставили его *количественную определённость*. В этом заключалась колоссальная объяснительная сила атомистики.

ЭЛЕМЕНТЫ МИРА. Второй ответ на вопрос Парменида был предложен Эмпедоклом (ок. 490 — ок. 430 гг. до н. э.). Разумеется, не следует думать, будто Эмпедокл специально размышлял именно над этим вопросом, как, впрочем, и Демокрит. Речь идёт о логической связи идей.

Космос Эмпедокла образован четырьмя **элементами** (другое название — **стихиями**): огнём, воздухом, землёй, водой — и двумя силами — любовью и враждой.

Элементы Эмпедокла не подвержены качественным изменениям, они вечны и непреходящи, они однородны, способны вступать друг с другом в различные комбинации в разных пропорциях.

Все вещи состоят, по Эмпедоклу, из элементов, как слова из букв. Аристотель добавил к названным выше четырём элементам тончайший эфир надлунных сфер, и в таком виде это учение просуществовало около 2000 лет.

УЧЕНИЕ АРИСТОТЕЛЯ ОБ ЭЛЕМЕНТАХ. Для Аристотеля (384—322 гг. до н. э.) было важно, чтобы наука о природе прежде всего отражала качественные изменения в мире. Его не удовлетворяла атомистика Демокрита, так как физический объект, наделённый определёнными качествами, не может, по Аристотелю, быть построен из бескачественных объектов — атомов. Аристотель вообще был противником крайностей, часто сопутствующих умозрительным рассуждениям. Ему

были ближе взгляды физиков — Анаксагора (ок. 500—428 гг. до н. э.) и Эмпедокла. Но Аристотель не просто пересказал идеи своих предшественников. Он критически переработал их представления, создал свою оригинальную научную программу.

Рассматривая качественное многообразие мира, Аристотель исходил из того, что «тела характеризуются только противоположностями, соответствующими осязанию». Он выбрал две пары противоположных, **элементарных качеств** (т. е. качеств, не сводимых друг к другу):

тёплое — холодное (активная пара);
сухое — влажное (пассивная пара).

На основе этих элементарных качеств Аристотель построил свой вариант учения об элементах. Простота Эмпедокловой четвёрки элементов, по мнению Аристотеля, лишь кажущаяся, ибо элементы составлены из элементарных качеств:

огонь = сухость + тепло; воздух = тепло + влага;
вода = влага + холод; земля = холод + сухость.

Элемент Аристотеля — это сочетание двух элементарных качеств, наложенных на первоматерию, которая впитывает в себя эти качества, как губка, но сама по себе лишена всякой качественной определённости. В идеальном элементе оба элементарных качества присутствуют симметрично (поровну), но в реальных элементах симметрия состава нарушена, в огне имеется избыток тепла, во льду — холода и т. п. Пропорции элементарных качеств могут варьировать широко и непрерывно, что способствует качественному многообразию мира.

Элементы, по Аристотелю, взаимопревращаемы, например:

	+ влага	
	- сухость	
сухость + тепло	$\rightleftharpoons$	тепло + влага
огонь		воздух
	- влага	
	+ сухость	

ЭСТЕТИЧЕСКИЙ ОБРАЗ МИРА. Наука, в понимании Аристотеля, должна изучать весь мир, от червя до небесных светил, причём каждому роду объектов должен отвечать свой метод их рассмотрения. Понять мир для греческих мыслителей вовсе не означает познать, каков он «сам по себе», понять мир — значит найти в нём порядок и гармонию, упорядочить явления мира, создать эстетически значимый образ бытия.

В этом плане научная программа Аристотеля гармонично соотносится с культурой его времени, в частности с литературными тенденциями его эпохи. Так, новоаттическая комедия (ок. IV—III вв. до н. э.) — это комедия характеров, а центр тяжести в драматургии вообще смещается в это время от судьбы к характеру.

Ученик и преемник Аристотеля Феофраст (372—287 гг. до н. э.) в своих сочинениях даёт типологию нравов, подобно тому как его учитель разработал типологию животных и растений. Феофраст продолжал вслед за Аристотелем наблюдать личность как нечто объективное, как вещь. Подобно тому как философы среди многообразия «текучих» вещей ищут какой-то неизменный принцип, так и Феофраст подмечал в человеке среди множества черт некую постоянную черту — «характер», по которой складывается представление о человеке.

- Используя справочную литературу или интернет-ресурсы, выясните происхождение и значения слов «атом», «стихия», «элемент».
- ▷ Почему человеческая мысль постоянно возвращалась к атомистическим представлениям даже в те времена, когда доказать существование атомов было невозможно?
- Иногда социологи и историки используют выражение «атомизация общества». Как вы понимаете его?

43 ВТОРОЕ РОЖДЕНИЕ АТОМИСТИКИ: КОРПУСКУЛЯРНЫЕ ТЕОРИИ

Урок-лекция

Пытливый дух апостола Фомы,

.....

Он перенёс все догмы богословья
На ипостаси сил и вещества.

М. Волошин

?

Почему в XVI—XVII вв. атомистические представления получают широкое распространение? В чём отличие корпускулярной теории Бойля от предшествующих теорий, объясняющих свойства веществ? В чём заключаются особенности корпускулярной теории Ньютона?

Корпускулярные теории

Ключевые
слова

Строение атома и химические свойства фтора. Энергия ионизации (Химия, 9 кл.).

Из **старого**
портфеля

В XVI—XVII вв. в Западной Европе усиливается интерес к атомистическим представлениям Античности. Кроме того, многие учёные XVII в. разрабатывали собственные атомистические, или, как их тогда чаще называли, **корпускулярные, теории**. Наибольшую известность среди них получили теории английских учёных Роберта Бойля и Исаака Ньютона.

Основные идеи «корпускулярной философии» Бойля сводятся к следующему:

- все тела состоят из мельчайших частиц — *корпускул*, которые Бойль называл «первичными природными образованиями»;
- эти частицы столь малы, что их невозможно увидеть;
- корпускулы различаются формой, размерами и характером своего движения (одни движутся по спирали, другие — по окружности и т. д.);
- первичные частицы способны объединяться в более или менее прочные совокупности — *кластеры* (по терминологии Бойля);
- кластеры являются основными структурными единицами тел.

Идеи Бойля существенно отличались от традиционного — схоластического¹ — способа объяснения свойств тел. Например, если тело горючее (дерево, бумага, сера), то, по мнению схоластов, это вызвано наличием в нём особой тонкой материи, которая и придаёт телу свойство горючести. Если тело окрашено, значит, в нём имеется особая тонкая материя, которая служит причиной окраски. Таким образом, на вопрос: «Почему сера имеет жёлтую окраску?» — схоласты отвечали: «Потому что в ней есть некое начало или элемент желтизны». Но что же это за начало, какова его природа? На этот вопрос ясного ответа не было. Поэтому схоластические объяснения свойств тел со временем перестали удовлетворять учёных и даже высмеивались в европейской художественной и философской литературе, причём задолго до XVII в.

По мнению Бойля, в телах «нет ничего реального и физического», кроме размеров, формы и движения составляющих их корпускул (корпускулярных кластеров).

Значительную роль в переходе на новые, корпускулярные позиции сыграл религиозный фактор. Материя, согласно Бойлю, сама по себе настолько пассивна, что не в состоянии осуществлять никакого движения. Для того чтобы она начала двигаться, дробиться до мельчайших первичных частиц, которые затем соединялись бы в кластеры, необходимо божественное вмешательство.

Оппоненты Бойля считали иначе: Бог не должен заниматься мелочной опекой и контролем каждой частицы созданного им мира. Материя не пассивна, в ней самой заключён источник её движения. Да, Бог всемогущ, но в подавляющем большинстве случаев он действует через посредничество им же созданной и упорядоченной природы. Бойлю и Ньютону такие взгляды казались опасными. Ведь если допустить, что Бог не пребывает в постоянном контакте со своим творением, то в конечном счёте можно во-

обще обойтись без Бога. Создатели современного естествознания, будучи людьми искренне и глубоко верующими, этого допустить не могли.

Разумеется, во времена Бойля, да и в последующие два с лишним столетия, не было возможности определять размеры, форму и структуру корпускулярных кластеров. Поэтому корпускулярная теория оставалась, скорее, программой на будущее, неким манящим, но недостижимым для того времени идеалом изучения и объяснения свойств веществ. Однако из этого вовсе не следует, что она была совершенно бесполезной. Корпускулярная теория покончила с распространённой практикой объяснять свойства через свойства («тело жёлтое, потому что в нём есть начало желтизны»). Химические и физические свойства тела согласно корпускулярной теории объяснялись сравнительно узким набором механических свойств составляющих его частиц (кластеров) — их размерами, формой, структурой и движением. И хотя со временем

Французский писатель Франсуа Рабле (1494—1553), пародируя схоластическую учёность, говорил о «побудительной силе вина» и «силе, притягивающей к сыру». А английский поэт Джеффри Чосер (ок. 1340—1400) так представлял диалог средневекового алхимика, которому он дал имя греческого философа Платона, с учеником:

...Во время оно
Раз ученик так спросил Платона:
«Скажи, учитель, имя Эликсира?»
«Титан — вот вещество и корень мира».
«Что есть Титан?» — «Магнезия иначе».
«Учитель, но ведь ты же обозначил
Ignotum per ignotius²?» — «Ну да».
«Но суть её?» — «То некая вода,
Слиянье элементов четырёх».
«Ты так скажи, учитель, чтоб я мог
Понять и изучить то вещество».
«Нет, нет, — сказал Платон, — и существо
Его останется навеки тайной.
И мы, философы, без нужды крайней
Открыть не можем тайну никому,
Она известна Богу одному».

¹ Схоластика — это средневековая европейская религиозная философия, характеризующаяся соединением христианского (католического) богословия и логики Аристотеля. Иногда схоластикой называют бесплодное и бессодержательное умствование, пустую словесную игру.

² То есть объяснил одно неизвестное через другое, тоже неизвестное.

наука обогатилась новыми фактами и теориями, сама идея объяснения свойств исходя из микроструктуры вещества не только сохранилась, но и обрела конкретное выражение.

Вспомним, к примеру, как объясняет современная наука химические свойства фтора (его высокую реакционную способность). Три фактора определяют «химическую индивидуальность» этого элемента:

— высокая энергия ионизации (т. е. энергия, необходимая для отрыва электрона от свободного атома), обусловленная в значительной мере небольшим размером атома фтора;

— большое родство к электрону (так называют энергию, выделяющуюся в процессе присоединения электрона к нейтральному атому), обусловленное тем, что в небольшом атоме фтора велико межэлектронное отталкивание;

— небольшая энергия, необходимая для разрыва химической связи в молекуле F_2 .

Идеи Бойля о строении вещества оказали большое влияние на Ньютона, который предложил свой вариант корпускулярной теории. Главная особенность его теории связана с введением понятия о *межчастичных силах*: силе притяжения и силе отталкивания (последняя действует на очень малых расстояниях между корпускулами). Кроме того, Ньютон подчёркивал важную роль *массы* первичных частиц материи. Эта идея нашла своё новое выражение более века спустя в работах английского учёного Джона Дальтона, который создал атомистическую теорию нового типа.

В XVI в. и особенно в XVII в. получили распространение корпускулярные теории строения вещества. Наиболее важную роль сыграли корпускулярные теории Бойля и Ньютона. Главные причины появления подобных теорий были связаны с неудовлетворительностью традиционных объяснений свойств тел.

В новый
портфель

??

- Используя справочную литературу или интернет-ресурсы, выясните происхождение и значения слов «корпускула», «кластер».
- Совместима ли «корпускулярная философия» Бойля с алхимической доктриной «трансмутации» (т. е. превращения) неблагородных металлов (например, свинца) в благородные (серебро, золото)? Для ответа используйте различные источники информации.
- Английский поэт Джон Донн (1572—1631) писал в одном из своих произведений:

И в сфере звёзд, и в облике планет
На атомы Вселенная крошится,
Все связи рвутся, всё в куски дробится,
Основы распались, и сейчас
Всё стало относительно для нас.

Какие особенности мироощущения человека начала Нового времени отразились в этих строках?

- Согласны ли вы с мыслью М. Волошина, которую он выразил в строках, приведённых в эпиграфе к этому параграфу? Какое влияние могла, по вашему мнению, оказать религия на формирование естествознания в XVII в.?
- Когда европейские миссионеры познакомили китайских мудрецов с достижениями европейской науки (в какое время это могло произойти?), то китайцы пришли в недоумение. Они нашли саму идею науки абсурдной, поскольку исполнять законы и подчиняться им дано лишь тем, кто способен эти законы понять, а дерево, вода, камень и т. д. этим свойством «понятливости» не обладают. Поэтому им нельзя предписывать законы и нельзя требовать от них их исполнения. Как вы полагаете, что китайские мудрецы поняли и что не поняли в характере европейской науки?

44 ХИМИЧЕСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ ЭПОХИ ПРОСВЕЩЕНИЯ

Урок-лекция

Я поставил перед собой задачу... объединить всё то, что мы знаем о том воздухе, который связывается или выделяется из тел... и создать теорию, которая должна вызвать революцию в физике и химии.

А. Лавуазье

?

Чем отличалась теория горения Лавуазье от теории флогистона? В чём суть химической революции XVIII в.?

Ключевые слова

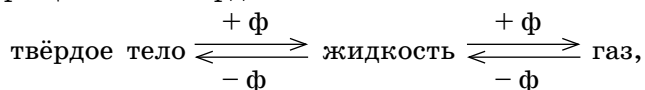
Кислородная теория горения • Химическая революция

Из старого портфеля

Свойства простых веществ (металлов и неметаллов), оксидов, оснований, кислот, солей (Химия, 8—9 кл.).

«Великая французская революция в химии» — так часто называют научный переворот, совершённый французским учёным Антуаном Лавуазье в 70-х гг. XVIII в. В чём же суть этой революции?

Собственно, началось всё с физики. В мае 1766 г. Лавуазье познакомился со статьёй одного немецкого химика, в которой говорилось, что «упругость» воздуха, т. е. его способность сопротивляться сжатию, обусловлена тем, что воздушные частицы окружены особой огненной материей, или *флогистоном*. В результате частицы отталкиваются друг от друга. Эта статья навела Лавуазье на мысль о том, что, возможно, при переходе в пар жидкость поглощает флогистон и переходит в «расширенное», т. е. газообразное, состояние. В апреле 1773 г. Лавуазье обобщил эту идею: переход вещества из твёрдого состояния в жидкое обусловлен присоединением флогистона, так же как и переход жидкости в пар. Если же от тела отнимать флогистон, скажем, путём охлаждения, то процессы будут идти в обратном порядке: газ сжимается, а жидкость, теряя флогистон, превращается в твёрдое тело:

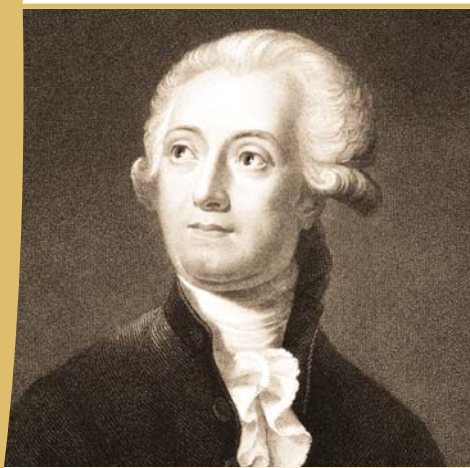


где ф — флогистон.

При этом допускалось, что воздух (газ) состоит из весомого «основания» и лёгкого почти невесомого флогистона.

Это была очень важная гипотеза, хотя доказать её было практически невозможно. Если ранее считалось, что, к примеру, лёд, вода и водяной пар — это разные по своей природе тела, то, согласно Лавуазье, это разные *агрегатные состояния* одного и того же вещества, различающиеся количеством поглощённого флогистона.

Но теория флогистона, детально разработанная немецким химиком и врачом Георгом Шталем на рубеже XVII—XVIII вв., имела также химическую составляющую. Считалось, что при горении веществ и прокаливании металлов выделяется флогистон и образуется него-



Антуан Лоран Лавуазье (1743—1794) — французский химик и физик. Создал кислородную теорию горения

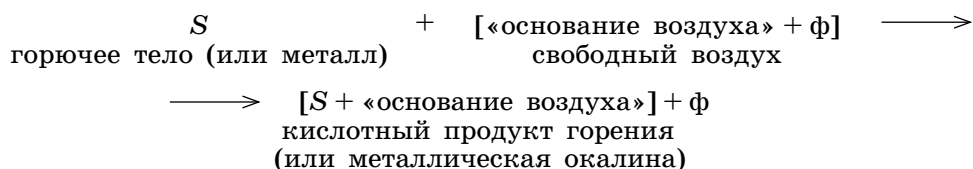
рючий остаток, т. е., по теории Штала, флогистон — это тонкая материя, присутствие которой в теле придаёт этому телу свойство горючести. Кроме того, считалось, что именно наличие флогистона приводит к появлению и других свойств тела, например цвета и запаха.

Флогистонная теория, по словам Д. И. Менделеева, «обобщила множество реакций, и это было уже очень важным шагом в науке». Действительно, согласно данной теории металлы — горючие вещества и превращение их в оксиды при прокаливании есть не что иное, как горение, т. е. выделение флогистона. Если затем на оксид металла (окалину) подействовать каким-либо веществом, богатым флогистоном, например углем, то можно вновь получить металл, поскольку флогистон от угля переходит к окалине и придаёт ей новые свойства (горючесть, характерный металлический блеск и т. д.).

Однако ко второй половине XVIII в. стали появляться факты, ставившие теорию флогистона под сомнение. Было выяснено, что при прокаливании металл поглощает воздух, в результате чего вес окарины оказывается больше веса металла. А что происходит при горении неметаллических веществ, например серы и фосфора?

В 1772 г. Лавуазье решил проверить, поглощает ли фосфор при горении воздух. Опыты продолжались около двух месяцев и убедили его в том, что при сгорании фосфора и серы происходит поглощение воздуха и образование кислотных продуктов. Более того, к этому времени уже было известно, что скисание вин связано с поглощением воздуха, который превращает спирт в уксусную кислоту. Следовательно, рассуждал Лавуазье, во всех кислотах присутствует воздух.

На основе этого вывода и своих представлений о переходе тел из одного агрегатного состояния в другое Лавуазье пришёл к *теории (модели) горения*, которую схематично можно представить так:



Как видим, хотя Лавуазье и понимал процессы горения и прокаливания иначе, чем Шталь, он не спешил отказываться от самого понятия о флогистоне. Изменился лишь носитель флогистона. Теперь это не металл и не горючее тело, как у Штала, а сам воздух.

В ходе дальнейших исследований Лавуазье пришёл к другому важному выводу: в процессах горения и прокаливании поглощается не просто атмосферный воздух, но какая-то его часть, которую он называл по-разному — «живительным воздухом» (ибо он поддерживает дыхание), «воздухом, наиболее пригодным для дыхания и горения», и, наконец, с 1777 г. — *кислородом*, т. е. рождающим кислоты.

Но ещё многое оставалось неясным: в частности, почему одни «виды воздуха» (одни газы) отличаются по своим свойствам от других. Очень важными для Лавуазье стали опыты по разложению ртутной окарины (оксида ртути HgO), которые до него проводил английский учёный Джозеф Пристли. Лавуазье разлагал ртутную окалину в присутствии угля (мощного источника флогистона) и без него. Учёный был поражён тем, что хотя и в том и другом случае происходило выделение газа, но это были разные газы и различия их никак не удавалось свести к неодинаковому количеству флогистона в них.

Действительно, газ, выделявшийся при прокаливании в присутствии угля («связанный воздух» — современный CO_2), должен был содержать больше флогистона, чем газ, полученный при прокаливании без угля, и, следовательно, хуже растворяться в воде. (Напоминаем,

что флогистон вызывал отталкивание частиц, с которыми он соединялся.) На деле же получалось наоборот: «связанный воздух» лучше растворялся в воде, чем воздух, полученный при прокаливании без угля.

После долгих размышлений и дополнительных экспериментов учёный пришёл к следующим выводам:

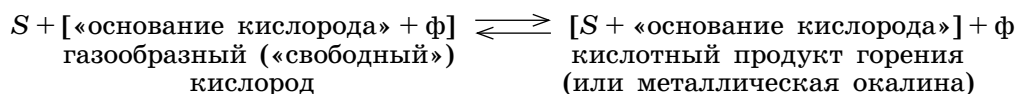
— из ртутной окалины при её нагревании без угля выделяется новый газ, тот самый, который поддерживает горение и дыхание и который впоследствии Лавуазье назвал кислородом (современная запись $2\text{HgO} = 2\text{Hg} + \text{O}_2$);

— «связанный воздух», получающийся при нагревании ртутной окалины с углём, представляет собой соединение кислорода с материей угля (современная запись $2\text{HgO} + \text{C} = 2\text{Hg} + \text{CO}_2$);

— чем больше кислорода содержится в теле, тем сильнее проявляются в нём кислотные свойства;

— в состав атмосферного воздуха, кроме кислорода, входит ещё и «удушающая часть воздуха», т. е. азот.

В итоге процессы горения и прокаливании стали пониматься Лавуазье так, как показано на следующей схеме:



Как видим, и в окончательном варианте своей **кислородной теории горения** Лавуазье использует понятие флогистона. Французский учёный не отказался от этого понятия, но существенно изменил его смысл. Флогистон в теории Лавуазье выполнял не химическую функцию носителя широкого круга свойств, а физическую: с ним были связаны тепловые явления, *агрегатные переходы* и т. д., а потому Лавуазье предложил для него новое название — *теплород*.

С появления кислородной теории горения и начался переломный этап в развитии химии, названный **химической революцией**. В 1789 г. Лавуазье издал свой знаменитый учебник «Элементарный курс химии», целиком основанный на кислородной теории горения и новой *химической номенклатуре*, т. е. правилах составления названий веществ. Он составил первый в истории список химических элементов (таблицу простых тел). Критерием определения элемента он избрал опыт. Лавуазье сформулировал **закон сохранения массы**, разработал рациональную **классификацию химических соединений**, основанную, во-первых, на различии в элементарном составе соединений и, во-вторых, на характере их свойств.

В новый портфель

Лавуазье внёс огромный вклад в становление химии как науки: он создал кислородную теорию горения, сформулировал и экспериментально доказал закон сохранения массы веществ при химических реакциях, составил первый в истории список химических элементов и разработал рациональную классификацию химических соединений.



- Для объяснения каких фактов Шталь создал теорию флогистона? На какой вопрос (или вопросы) должна была ответить эта теория?
- Можно ли считать теорию флогистона, ошибочность которой в итоге была доказана данными физики и химии, ненаучной?
- О каких физических и химических явлениях говорится в параграфе? Сравните, что происходит с веществами в ходе таких явлений.
- В параграфе обсуждались реакции соединения и разложения. Что лежит в основе данной классификации химических реакций? Какие ещё типы химических реакций вам известны? Приведите примеры реакций замещения и обмена.

- Для объяснения каких явлений Лавуазье использовал понятие «теплород»? Что понимают под тепловым эффектом химической реакции? Как можно классифицировать химические реакции по тепловому эффекту?
- Вспомните, какие реакции относят к окислительно-восстановительным. Для приведённых в тексте параграфа химических реакций составьте схемы электронного баланса.
- Почему считается, что работы Лавуазье произвели переворот в химии?

45 «НОВАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКОЙ ФИЛОСОФИИ» ДЖОНА ДАЛЬТОНА

Урок-лекция

В основании каждой теории в естествознании всегда лежит нечто такое, что не может быть подтверждено экспериментально.

Й. Берцелиус

?

Чем отличается атомная теория Дальтона от предшествующих вариантов атомистики? Что нового внесла атомистика Дальтона в понимание свойств веществ?

Атомная теория Дальтона

Ключевые
слова

Атомы и молекулы. Химический элемент как вид атомов. Массы атомов и молекул. Относительные атомные массы. Атомная единица массы. Количество вещества. Моль — единица количества вещества. Молярная масса. Закон постоянства состава веществ (Химия, 8—9 кл.).

Из старого
портфеля

УЧЕНИЕ О СОСТАВЕ ВЕЩЕСТВ. До начала XIX в. учение об элементах и атомистические представления рассматривались как принципиально разные способы объяснения структуры и свойств тел. Свойства часто объясняли наличием в теле тех или иных элементарных начал, роль которых могли играть элементы Аристотеля (огонь, вода, воздух, земля), три первоначала Парацельса (ртуть, сера, соль) или какие-либо иные наборы элементарных сущностей. Сторонники же атомистических представлений связывали свойства с геометрическими и механическими характеристиками составляющих тело частиц (к примеру, с их размерами, формой, движением, с присущими им силами).

Мысль Лавуазье о существовании в природе конечного числа элементов, обладающих определённой совокупностью свойств и доступных определению методами химического анализа, способствовала последующему синтезу атомистики и учения об элементах.

Но для того чтобы эти два учения слились в одно, атомную теорию нужно было видоизменить. И главное,



Джон Дальтон (1766—1844) — английский физик и химик. Работал в области метеорологии и физики газов, описал дефект зрения, известный как дальтонизм

Водород		Стронций	
Азот		Барий	
Углерод		Железо	
Кислород		Цинк	
Фосфор		Медь	
Сера		Свинец	
Магний		Серебро	
Кальций		Платина	
Натрий		Золото	
Калий		Ртуть	

Рис. 58

Химические знаки элементов, которые использовал Дальтон

Дальтон использовал свою систему химических знаков (рис. 58). Некоторые из этих знаков восходят к эпохе алхимии.

что предстояло сделать, — это найти такое свойство атома, которое бы, с одной стороны, оставалось неизменным в ходе химических реакций и агрегатных переходов, а с другой — поддавалось бы количественному экспериментальному определению. Ни форма, ни размеры атомов на эту роль не подходили хотя бы потому, что их невозможно было определить экспериментально. В качестве подходящего свойства атома Джон Дальтон выбрал относительный атомный вес (в настоящее время используют термин *относительная атомная масса*, или просто «атомная масса»).

ТЕОРИЯ ДАЛЬТОНА. Всю свою сознательную жизнь Дальтон занимался метеорологией, он сделал около 200 000 записей о состоянии погоды. В процессе метеорологических наблюдений он заинтересовался свойствами газов и газовых смесей, причём, обсуждая те или иные вопросы физики газов, он использовал атомистические теории, весьма распространённые в Англии ещё с XVII в. В итоге к 1801 г. у него сложились следующие представления о природе газообразного состояния:

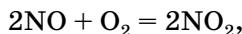
— атомы газов окружены теплородной оболочкой, объём которой увеличивается с ростом температуры;

— между частицами газов действуют силы

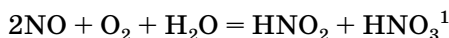
отталкивания, обусловленные отталкиванием теплородных оболочек, и силы притяжения («химического сродства»);

— частицы газа располагаются в пространстве настолько плотно, что теплородные оболочки касаются друг друга.

Для ответов на целый ряд важных вопросов (почему происходит диффузия газов; почему атмосфера не расслаивается, т. е. почему тяжёлые газы не скапливаются у поверхности Земли, и т. д.) необходимо было прежде всего научиться определять состав газовой смеси, для начала хотя бы количество кислорода в ней. Без этого невозможно было экспериментально изучать изменение состава атмосферы с высотой, растворимость газов в воде и решать другие проблемы. Наиболее быстрым способом определения наличия кислорода в газовой смеси, по мнению Дальтона, могла служить так называемая проба Пристли, т. е. реакция кислорода с оксидом азота(II) NO, в результате которой образуется газ бурого цвета — оксид азота(IV) NO₂:



или та же реакция в присутствии воды:



В итоге Дальтон пришёл к необходимости определить состав оксидов азота, а для этого надо было знать относительные атомные массы азота и кислорода. Таким образом, именно в процессе решения химической задачи о составе оксидов азота возникла задача определения относительных атомных масс. Однако, чтобы составить шкалу относительных атомных масс (Дальтон принимал массу атома водорода за единицу), нужно было знать, сколько атомов каждого элемента входит в молекулу («сложный атом», по терминологии Дальтона) данного

¹ Уравнения реакций даны в современной записи.

соединения, а для того чтобы это определить, надо знать элементный состав соединения (в процентах по массе) и... относительные атомные массы входящих в соединение атомов элементов. Круг замкнулся.

Чтобы как-то выйти из создавшегося положения, Дальтон придумал правило, которое он назвал «правилом простоты». Именно придумал, потому что никаких мало-мальски веских доводов в доказательство этого правила он привести не смог, только умозрительные, вроде того что «природа действует всегда простейшим путём», «не следует увеличивать сложности без необходимости» и т. п.

Согласно этому правилу, если два элемента А и В образуют только одно соединение (как, например, водород и кислород дают только воду; пероксид водорода тогда ещё не был открыт), то состав его будет простейшим: АВ, т. е. вода в таком случае должна иметь состав НО, аммиак — NH и т. д. Как видим, Дальтон не угадал состава воды и аммиака, и потому численно его шкала относительных атомных масс оказалась неверной.

Несовершенства **атомной теории Дальтона** не умаляют сделанного им прорыва. Дальтон исходил в своих рассуждениях из того, что элемент — это атомы одного вида, с определёнными атомными весами, а каждый атом — это атом определённого химического элемента. Иными словами, атомы различных химических элементов неодинаковы по своим свойствам и массам, тогда как все атомы одного и того же вещества совершенно одинаковы. Кроме того, Дальтон показал, что предложенная им атомная теория может быть не только умозрительной, но и рабочей теорией: проблему происхождения свойств веществ можно и должно связывать с атомным составом тел.

Благодаря работам Дальтона атомистические представления и представления об элементах, претерпев долгую историческую эволюцию, объединились наконец в одно фундаментальное учение.

В новый портфель

??

- ▶ На основании текста параграфа сформулируйте основные положения атомной теории Дальтона.
- ▶ В своих расчётах относительных атомных масс азота и кислорода Дальтон исходил из известных в начале XIX в. данных о процентном (по массе) составе воды (85 % кислорода и 15 % водорода) и аммиака (80 % азота и 20 % водорода). Определите, исходя из этих данных и правила простоты Дальтона, полученные им значения относительных масс азота и кислорода (атомную массу водорода Дальтон принимал за единицу).
- ▶ Поначалу Дальтон полагал, что один из оксидов азота, так называемая селитряная кислота, имел атомный состав, который в современных обозначениях может быть представлен формулой NO_2 . Процентный (по массе) состав этого оксида, по данным того времени, был следующим: 29,5 % азота и 70,5 % кислорода. Сопоставляя гипотетический атомный и экспериментальный определённый процентный составы этого оксида и используя свою шкалу относительных атомных масс (см. предыдущую задачу), Дальтон предложил новую формулу селитряной кислоты. Какую? Ответ обоснуйте расчётом.
- ▶ В тексте параграфа приведены уравнения химических реакций. По каким признакам и как можно классифицировать эти реакции?
- ▶ Французским учёным Ж. Прустом был сформулирован закон постоянства состава веществ. Приведите формулировку этого закона и объясните, как с позиций атомной теории Дальтона его можно интерпретировать.
- ▶ Почему своё двухтомное сочинение, изданное в 1808—1810 гг., Дальтон назвал «Новая система химической философии»?
- ▶ Используя различные источники информации, подготовьте сообщение по теме «Биография Джона Дальтона».

46 СВОЙСТВА ВЕЩЕСТВ И КЛАССИЧЕСКАЯ АТОМНО-МОЛЕКУЛЯРНАЯ ТЕОРИЯ

Урок-семинар

Учение о молекуле лежит в основе всех других обобщений, так что современную химию можно по праву назвать молекулярной химией.

А. М. Бутлеров

?

В чём состоит сущность классического атомно-молекулярного учения? На какие законы и представления физики и химии оно опирается? Почему научное сообщество несколько десятилетий не признавало закон Авогадро?

Из старого портфеля

Атомы и молекулы. Химический элемент как вид атомов. Закон Авогадро. Важнейшие классы неорганических соединений. Основные виды химической связи. Простые и сложные вещества (Химия, 8—9 кл.).

ЦЕЛЬ СЕМИНАРА. Понять, как утверждение атомно-молекулярной теории повлияло на понимание свойств веществ.

ПЛАН СЕМИНАРА

1. Основные положения классической атомно-молекулярной теории.
2. Закон Авогадро.
3. Свойства химических соединений в свете классической атомно-молекулярной теории.

Необходимые источники информации

1. Книга для чтения по неорганической химии: кн. для учащихся. В 2 ч. / сост. В. А. Крицман. — 3-е изд., перераб. — Ч. 1. — М.: Просвещение, 1993.
2. Химия. Большой справочник для школьников и поступающих в вузы / Л. Л. Андреева, Д. Ю. Добротин, О. С. Габриелян. — М.: Дрофа, 2004.
3. Химия: школьная энциклопедия / гл. ред. Ю. А. Золотов. — М.: Большая российская энциклопедия, 2003.
4. Энциклопедия для детей. [Т. 17.] Химия. — М.: Аванта+, 2013.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 1

Найдите необходимые сведения о классической атомно-молекулярной теории. Сформулируйте её основные положения. Чем эта теория принципиально отличается от атомной теории Дальтона?

Чтобы вам легче было ответить на этот вопрос, решите следующую задачу: определите формулу углеводорода, содержащего 85,71 % углерода и 14,29 % водорода. Решив эту задачу, вы найдёте, что формула углеводорода C_nH_{2n} . Но это так называемая *простейшая формула*. Приведённому элементному составу удовлетворяют все углеводороды с формулой C_nH_{2n} ($n = 2, 3, 4, 5 \dots$). Вспомните, каким классам органических веществ соответствует общая формула C_nH_{2n} . Какие ещё классы углеводородов вы знаете? Приведите примеры.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 2

Какую роль в формировании атомно-молекулярной теории сыграла гипотеза Авогадро?

Сначала определите формулу углеводорода, содержащего 85,71 % углерода и 14,29 % водорода. Плотность этого углеводорода по водороду составляет 21.

Решая эту задачу, вы воспользовались одним из следствий закона Авогадро, который в первой половине XIX в. чаще именовали гипотезой. И многим исследователям гипотеза эта представлялась весьма спорной. Свою гипотезу итальянский химик Амедео Авогадро сформулировал в 1811 г. Однако понадобилось почти 50 лет, чтобы научное сообщество её признало. Почему?

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 3

Является ли метод определения относительной молекулярной массы вещества по относительной плотности его пара универсальным?

Чтобы правильно ответить на этот вопрос, подумайте, можно ли указанным методом определить относительную молекулярную массу хлорида аммония NH_4Cl , оксида меди(I) Cu_2O , гидроксида меди(II) $\text{Cu}(\text{OH})_2$. К каким классам неорганических соединений относят эти вещества? Какие ещё классы неорганических соединений вы знаете?

Как вы полагаете, в какой области химии — органической или неорганической — гипотеза Авогадро в первой половине XIX в. могла использоваться наиболее плодотворно?

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 4

В чём состояло значение атомно-молекулярной теории для понимания свойств веществ? Как можно объяснить приведённые в эпиграфе слова А. М. Бутлерова?

Подумайте сначала над таким вопросом: могли ли быть сделаны такие крупнейшие открытия, как периодический закон, теория химического строения и многие-многие другие, если бы перед этим не была создана атомно-молекулярная теория?

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 5

Чем различаются понятия «свойства молекулы» и «свойства вещества»?

Допустим, вы открыли химический справочник и в статье «Азот» прочитали: « N_2 — газ без цвета и запаха, $t_{\text{кип}} = -196^\circ\text{C}$, $t_{\text{пл}} = -210^\circ\text{C}$, энергия химической связи 940 кДж/моль». Какие из этих характеристик относятся к свойствам молекулы азота, а какие — к свойствам простого вещества? Какой вид химической связи реализуется в молекуле азота?

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 6

Все ли вещества состоят из молекул?

Для ответа на этот вопрос обратитесь к строению таких веществ, как металлы, алмаз, графит, хлорид натрия.

К каким классам относят данные вещества? Какой вид химической связи реализуется в простых веществах металлах? Какое строение имеет хлорид натрия NaCl ? Какой вид связи реализуется в данном веществе? Приведите примеры веществ с ионной связью. Какой вид химической связи реализуется в простых веществах неметаллах? Какова физическая природа химической связи? В чём различие строения алмаза и графита (аллотропных модификаций углерода)? Каково практическое значение получения искусственных алмазов из графита? Какие ещё реакции протекают без изменения состава вещества?

47 ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН

Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

Урок-конференция

...Людскому уму мало частных: необходимы систематические обобщения... Если нет развития всех или хоть общей части этих обобщений, знание ещё не наука, не сила, а рабство перед изучаемым.

Д. И. Менделеев

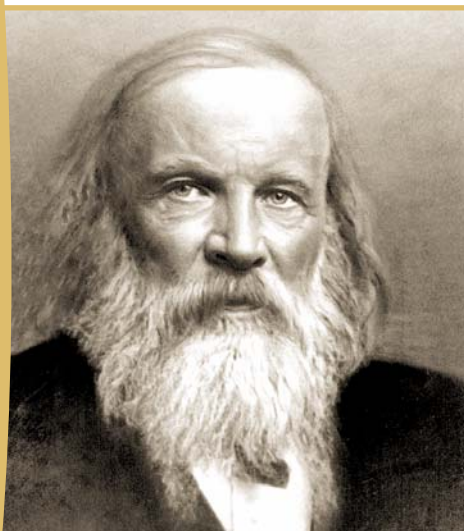
?

Какую роль классификации играют в естественно-научных исследованиях? Чем классификация химических элементов, представленная в периодической системе элементов Д. И. Менделеева, отличается от других естественно-научных классификаций?

ЦЕЛЬ КОНФЕРЕНЦИИ. Рассмотреть, как периодический закон способствовал углублению представлений о свойствах веществ.

ПЛАН КОНФЕРЕНЦИИ

1. Проблема классификаций в естественных науках.
2. Главные направления научных исследований, создавших основу для открытия периодического закона.
3. Открытие периодического закона и создание периодической системы химических элементов. Значение периодического закона.



Д. И. Менделеев (1834—1907) — великий русский учёный-энциклопедист, химик, технолог, физик, геолог и метролог. Автор классического труда «Основы химии», работа над которым побудила Менделеева к открытию периодического закона

Многие естественные науки (например, биология) изучают объекты, обладающие неповторимыми индивидуальными свойствами и особенностями, иными словами, уникальные объекты. Однако наука не может иметь дело только с уникальными, единичными объектами. Учёные предпочитают работать с их отдельными совокупностями — классами, разрядами, группами, рядами, объединяя объекты в эти совокупности так, чтобы, опираясь на информацию об одном объекте данного класса, группы или ряда, можно было сказать нечто существенное и обо всех остальных.

СООБЩЕНИЕ 1

Классификации в естественных науках: функции классификаций (классификации естественные и искусственные; классификации и типологии); постановка и решение проблем классификации в естественных науках (физика, астрономия, химия, биология); трудности классификации биологических объектов и пути их преодоления; классификация неорганических и органических веществ и её относительность; связь проблемы классификации объектов с проблемой определения их структуры.

Источники информации

1. Любичев А. А. Значение и будущее систематики / А. А. Любичев // Природа. — 1971. — № 2.
2. Философский словарь / под ред. И. Т. Фролова. — М.: Республика, 2001.

СООБЩЕНИЕ 2

Предпосылки открытия периодического закона: разработка атомно-молекулярной теории; создание теории валентности; открытие химических элементов в XVIII—XIX вв. и накопление сведений об элементах; попытки систематизации химических элементов предшественниками Д. И. Менделеева.

Источники информации

1. Евдокимов Ю. К истории периодического закона / Ю. Евдокимов // Наука и жизнь. — 2009. — № 5.
2. Левченков С. И. Краткий очерк истории химии / С. И. Левченков. — Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 2006.
3. Миттова И. Я. История химии с древнейших времён до конца XX века: учеб. пособие. В 2 т. Т. 1 / И. Я. Миттова, А. М. Самойлов. — Долгопрудный: Издательский Дом Интеллект, 2012.
4. Самин Д. К. 100 великих учёных / Д. К. Самин. — М.: Вече, 2014.
5. Химия: энциклопедия химических элементов / под ред. А. М. Смоговского. — М.: Дрофа, 2008.

СООБЩЕНИЕ 3

Периодический закон и углубление понимания свойств веществ; трактовка понятия «химический элемент» Д. И. Менделеевым; периодический закон — периодическая система — периодические таблицы химических элементов; изменение свойств атомов, простых и сложных тел в свете теории периодичности; прогнозирование свойств неоткрытых элементов на основе периодического закона; значение периодического закона для развития науки и понимания естественно-научной картины мира; современные представления о причинах периодического изменения свойств химических элементов и их соединений.

Классическая формулировка периодического закона, данная Д. И. Менделеевым в 1869 г., гласит: «Свойства простых тел, а также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости от величины атомных весов элементов».

В настоящее время периодический закон Д. И. Менделеева формулируется так: «Свойства химических элементов и образуемых ими простых и сложных веществ находятся в периодической зависимости от величины заряда ядра атомов этих элементов».

Источники информации

1. Дмитриев И. С. Человек эпохи перемен: очерки о Д. И. Менделееве и его времени / И. С. Дмитриев. — СПб.: Химиздат, 2004.
2. Книга для чтения по неорганической химии: кн. для учащихся. В 2 ч. / сост. В. А. Крицман. — М.: Просвещение, 1993. — Ч. 1.
3. Левицкий М. Открытия и судьбы / М. Левицкий // Химия и жизнь — XXI век. — 2001. — № 11.
4. Миттова И. Я. История химии с древнейших времён до конца XX века: учеб. пособие. В 2 т. Т. 1 / И. Я. Миттова, А. М. Самойлов. — Долгопрудный: Издательский Дом Интеллект, 2012.
5. Чугаев Л. А. Дмитрий Иванович Менделеев: биография русского гения / Л. А. Чугаев // Экология и жизнь. — 2009. — № 1.

Слова для поискового запроса: периодический закон, химический элемент, Д. И. Менделеев, периодическая система.

Научная классификация фиксирует закономерные связи между классами объектов с целью определения места объекта в системе, которое указывает на его свойства. Именно такова периодическая система химических элементов Д. И. Менделеева. На основании этой системы были предсказаны свойства неизвестных элементов, и эти прогнозы блестяще подтвердились.

**В новый
портфель**

Факты, не объясняемые существующими теориями, наиболее дороги для науки...

А. М. Бутлеров

?

Почему одни вещества отличаются по своим физическим и химическим свойствам от других? Какие факторы определяют свойства веществ?

Из старого портфеля

Представления А. Лавуазье о кислотах (см. § 44). Вещества простые и сложные. Качественный и количественный состав вещества. Свойства воды, пероксида водорода и сероводорода (Химия, 8—9 кл.).

ЦЕЛЬ СЕМИНАРА. Понять соотношение между тремя важнейшими характеристиками вещества — его составом (качественным и количественным), его структурой и его свойствами (физическими и химическими).

ПЛАН СЕМИНАРА

1. Проблема объяснения свойств веществ в свете представлений об их составе.
2. Проблема объяснения свойств веществ в свете представлений об их структуре.
3. Проблема объяснения свойств веществ в свете квантовой теории строения атомов и химической связи.

Необходимые источники информации

1. Ерёмин В. В. Теоретическая и математическая химия для школьников / В. В. Ерёмин. — М.: МЦНМО, 2007.
2. Книга для чтения по неорганической химии. В 2 ч. / сост. В. А. Крицман. — М.: Просвещение, 1983. — Ч. 1.
3. Миттова И. Я. История химии с древнейших времён до конца XX века: учеб. пособие. В 2 т. Т. 1 / И. Я. Миттова, А. М. Самойлов. — Долгопрудный: Издательский Дом Интеллект, 2012.
4. Химия: школьная энциклопедия / гл. ред. Ю. А. Золотов. — М.: Большая российская энциклопедия, 2003.
5. Энциклопедия для детей. [Т. 17.] Химия. — М.: Аванта+, 2013.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 1

Исторически первый ответ на вопрос о происхождении свойств веществ был таков: свойства соединения определяются его качественным и количественным составом. Сопоставьте свойства следующих пар соединений: вода H_2O и сероводород H_2S , вода H_2O и пероксид водорода H_2O_2 .

Однако уже к середине XIX в. накопилось много данных о соединениях, обладавших одинаковым качественным и количественным составом, но различными свойствами. Например, немецкие химики Юстус Либих и Фридрих Вёлер в 1822—1823 гг. независимо друг от друга изучали соли кислоты, имеющей состав HCNO . Каждый из них послал в журнал статью с описанием этих солей. При этом Либих утверждал, что соли указанной кислоты крайне взрывчаты (кстати, он называл эту кислоту гремучей). Вёлер же ничего подобного не заметил. Он утверждал, что

соли кислоты состава HCNO вполне устойчивые соединения. Арбитром в их споре выступил шведский химик Йенс Якоб Берцелиус, который предложил для таких соединений специальный термин (какой?). В чём состоит отличие гремучей кислоты Либиха от циановой кислоты Вёлера?

Как объяснить подобные случаи, когда соединения одинакового состава обладают разными свойствами? Что такое изомеры и изомерия? Приведите примеры изомеров и реакций изомеризации. Что происходит с составом веществ в ходе таких реакций?

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 2

Свойства химических соединений определяются не только их составом, но и химическим строением, т. е. порядком связи атомов в молекулах. Как свойства молекул зависят от их строения? Что понимается под термином «строение молекул»?

В 1869 г. немецкий химик Йоханнес Вислиценус установил, что существуют две формы молочной кислоты: одна была обнаружена в кислом молоке (молочная кислота брожения), другая — в мышечной ткани (открыта Либихом ещё в 1847 г.). Состав этих кислот одинаковый: $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$. Химическое строение (т. е. порядок связи атомов) тоже одинаковое (какое?).

Более того, все химические свойства этих кислот были совершенно одинаковыми. Не различались они и по своим физическим свойствам, кроме одного — они по-разному, в разных направлениях, но на один и тот же угол вращали плоскость поляризованного света. С чем связано такое различие? Приведите примеры соединений одинакового состава и одинакового химического строения, но различающихся теми или иными свойствами и биологической активностью.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 3

При одинаковом составе и одинаковой последовательности соединения атомов в молекулах свойства молекул тем не менее могут быть различными, если атомы или группы атомов по-разному расположены в пространстве.

В начале XX в. выяснилось, что для объяснения свойств вещества мало знать его состав, химическое строение и расположение в пространстве атомов или атомных групп. Необходимо принимать во внимание также его электронное строение и вид химической связи (ионная или ковалентная). Как свойства вещества зависят от его электронного строения и вида химической связи между атомами?

Обсудите следующие вопросы: почему раствор соли проводит электрический ток, а раствор сахара нет? Что происходит при растворении поваренной соли в воде? Объясните механизм электролитической диссоциации на примере вещества ионного строения. Почему аммиак NH_3 реагирует с водой, а метан CH_4 не реагирует?

ПОДВЕДЕНИЕ ИТОГОВ

Свойства химических соединений определяются:

- атомным составом (количественным и качественным);
- порядком соединения атомов в молекуле или кристалле (т. е. химическим строением);
- пространственным расположением атомов и атомных групп в молекуле или кристалле;
- электронным строением и видом химической связи.

Растение именовано полностью, если оно снабжено и родовым, и видовым именем.

К. Линней

?

Каким целям служит биологическая классификация? Что такое бинарная номенклатура? Как пользоваться определителем? Какими современными методами оперирует систематика?

Ключевые
слова

Бинарная номенклатура • **Таксон (систематическая категория)** • **Теза** • **Антитеза**

Из старого
портфеля

Многообразие живых существ. Биологическая систематика. Вид. Предмет изучения молекулярной биологии (Биология, 7—9 кл.). Нуклеиновые кислоты (см. § 30—32).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Научиться выявлять общие признаки принадлежности живых организмов к той или иной группе; научиться пользоваться определителем и познакомиться с современными методами определения видов.

ПЛАН РАБОТЫ. Выполнить последовательно задания и сформулировать выводы по каждому из них.



Библиотечный каталог

Каковы, по вашему мнению, принципы научной классификации?

1. Сформулируйте, в чём состоит суть системы классификации живых организмов К. Линнея. Выделите признаки, по которым растения относят к одному семейству, одному роду, одному виду.

ПОДСКАЗКА

Основы современной систематики заложил шведский натуралист Карл Линней (1707—1778). Он предложил обозначать название вида латинскими словами: первое (существительное) обозначает род, а второе (прилагательное) определяет конкретный вид. Такое бинарное (двучленное) обозначение — **бинарная номенклатура** — значительно упростило классификацию. Линней установил и принцип иерархичности **систематических категорий**, или **таксонов**: сходные роды группируются в семейства, семейства — в отряды, отряды — в классы, классы — в типы, а типы — в царства. В подобном виде система классификации живых существ сохранилась до наших дней.

2. Воспользовавшись определителем, попробуйте самостоятельно определить вид какого-либо растения или животного.

ПОДСКАЗКА

Принцип определения состоит в том, что сначала устанавливают самый высокий иерархический таксон, затем переходят к следующему, и так до уровня вида. Например, нам надо определить пойманного шмеля. Мы знаем, что это животное

(царство Животные — *Animalia*), из зоологии вспоминаем, что это членистоногое (тип Членистоногие — *Arthropoda*) и насекомое (класс Насекомые — *Insecta*). А вот дальше может понадобиться определитель, чтобы выяснить, к какому отряду (Перепончатокрылые — *Hymenoptera*), семейству (Пчелиные — *Apidae*), роду (шмель — *Bombus*) и виду (например, шмель каменный — *Bombus lapidarius*) относится пойманное насекомое.

Классические научные определители состоят из определительных таблиц, построенных на основе противопоставления **тезы**, в которой перечисляются специфические признаки вида или группы видов (род, семейство и т. д.), и **антитезы**, где приводятся противоположные признаки. Каждая теза имеет номер, а в скобках указан номер антитезы. Если признаки организма соответствуют тезе, то надо внимательно прочитать антитезу и убедиться, что приведённые в ней признаки к определяемому организму не подходят, и переходить к следующей по порядку тезе. Если же признаки соответствуют антитезе, то дальнейшее определение надо вести от неё. Так следует поступать до тех пор, пока теза или антитеза не завершится названием таксона. Для таксонов каждого иерархического уровня приведены свои таблицы. Например, при определении шмеля сначала надо воспользоваться таблицей для определения отрядов насекомых, потом семейств отряда Перепончатокрылые, затем родов семейства Пчелиные и, наконец, видов рода шмель.

Дополнительные источники информации

1. Губанов И. А. Иллюстрированный определитель растений Средней России / И. А. Губанов, К. В. Киселёва, В. С. Новиков, В. Н. Тихомиров. — М.: Т-во науч. изд. КМК: Ин-т технол. исслед., 2004.
2. Мамаев Б. М. Школьный атлас-определитель насекомых / Б. М. Мамаев. — М.: Просвещение, 1985.
3. Волцит П. М. Птицы России. Определитель / П. М. Волцит, А. А. Мосалов. — М.: Астрель, 2013.
4. Дунаев Е. А. Земноводные и пресмыкающиеся России. Атлас-определитель / Е. А. Дунаев, В. Ф. Орлова. — М.: Фитон+, 2012.

Слова для поискового запроса: ботаника, зоология, растение, животное, вид, семейство, классификация.

3. Личинки многих видов животных совершенно не похожи на взрослых особей. Предложите методы, с помощью которых можно было бы правильно определить вид найденной личинки.

ПОДСКАЗКА

На помощь приходят методы *молекулярной биологии*. Было установлено, что последовательность нуклеотидов в ДНК геномов разных особей различается. Причём, чем выше степень родства, тем различия меньше. Так, внутривидовые различия гораздо меньше, чем межвидовые, а различия между видами одного рода будут меньше, чем у видов, относящихся к разным родам, и т. д. Эту особенность организации генома стали использовать как в систематике, так и для выяснения степени родства между видами. Анализируется не целый геном, а отдельные его участки, гены или даже их фрагменты. Если последовательность нуклеотидов в выбранном гене личинки будет соответствовать последовательности нуклеотидов в том же гене взрослой особи, то можно заключить, что и личинка, и взрослая особь принадлежат к одному виду.

Биологическая систематика построена на принципе иерархичности. Название вида бинарное. Определить систематическое положение (вид, род и т. д.) любого организма можно с помощью определителя, принцип работы с которым сводится к сопоставлению тезы и антитезы. В современной биологии для видовой идентификации широко используют методы молекулярной биологии.

**В новый
портфель**

50 СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О МНОГООБРАЗИИ ЖИВОГО

Урок-лекция

Но в нынешних веках нам Микроскоп открыл,
Что Бог в невидимых животных сотворил.

М. В. Ломоносов

?

Как развивались представления о классификации живых существ? С чем связан пересмотр взглядов на систему царств живых организмов?

Ключевые
слова

Царство • Уровни структурной организации • Бактерии • Археи

Из старого
портфеля

Разнообразие и систематика живых существ. Прокариоты и эукариоты. Автотрофный и гетеротрофный способы питания. Продуценты, консументы, редуценты. Строение клетки (см. § 32, 35; Биология, 7—9 кл.).

ИСТОРИЯ КЛАССИФИКАЦИИ ЖИВЫХ СУЩЕСТВ. Привычнее всего подразделять живые существа на растения и животные. Восходят эти представления к Аристотелю, который предложил в качестве критериев для отнесения живых организмов к той или иной группе подвижность и чувствительность.

Растения неподвижны и нечувствительны, животные — наоборот. Линней, основоположник современной систематики, в полном согласии с классификацией Аристотеля выделил два **царства**: *Vegetabilia* (Растения) и *Animalia* (Животные). Впоследствии к двум критериям различения растительных и животных организмов Жан Батист Ламарк (1744—1829) добавил ещё и способ питания — автотрофный для растений и гетеротрофный для животных. Такая двущарственная система живого просуществовала практически до наших дней, хотя время от времени и подвергалась сомнению.

Осложнения стали накапливаться при изучении того мира живых существ, который «нам Микроскоп открыл». Эти существа оказались подвижными, поэтому по критериям Аристотеля — Линнея их следовало отнести к животным. Недаром изобретатель микроскопа Антони ван Левенгук назвал их анималькулами (маленькими зверушками). Однако среди этих зверушек обнаружились формы, как снабжённые хлоропластами, т. е. растительные по своей природе, так и питающиеся гетеротрофно, которых, следовательно, надо считать животными, и, наконец, отличные от тех и других микроорганизмы (бактерии).

В результате одни и те же виды живых организмов ботаники и зоологи классифицировали по-разному. Например, согласно ботанической номенклатуре эвгленовые выделялись в самостоятельный тип, а зоологи рассматривали их лишь как отряд в классе жгутиконосцев. Таких «двущарственных» видов, которые классифицировались одновременно как растения и как животные, насчитывалось около 30 тыс.

Подобная неоднозначность в классификации живых существ на самом высоком таксономическом уровне (царства) свидетельствует о том, что критерии, принятые для выделения царств, либо неверны, либо требуют уточнения. Это стало ещё более очевидным с развитием электронной микроскопии и с внедрением в систематику методов молекулярной биологии.

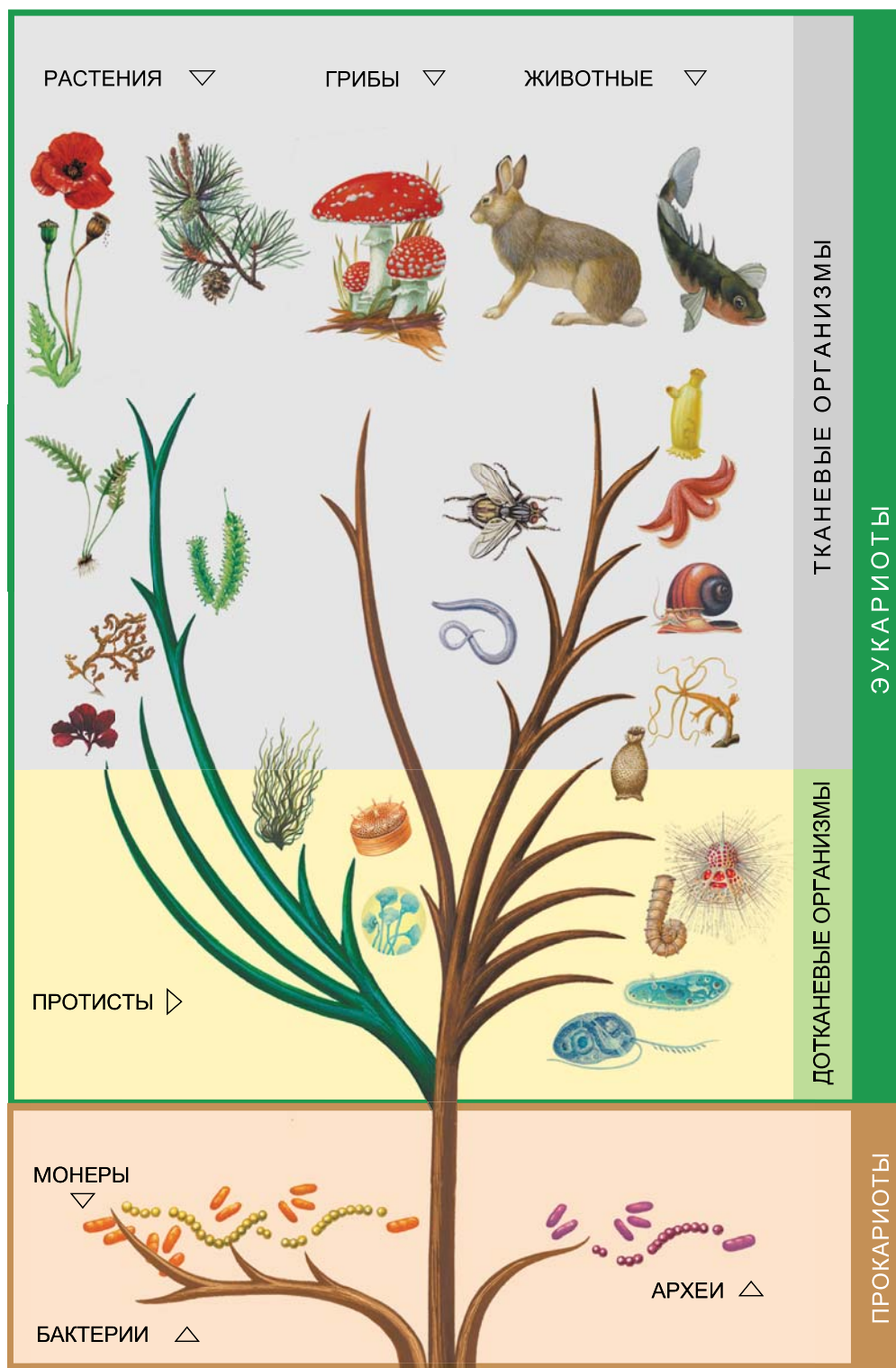


Рис. 59

Предполагаемая схема филогенетических взаимоотношений царств живых организмов

СКОЛЬКО ЦАРСТВ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ СЛЕДУЕТ ВЫДЕЛИТЬ? Точного ответа на этот вопрос пока ещё нет. Один из подходов к систематике организмов состоит в вычленении масштабных этапов их эволюции, каждый из которых отражает определённый **уровень структурной организации** живого, контрастно отличающийся от остальных. Речь идёт о выделении подуровней в рамках онтогенетического уровня организации живых систем (см. § 29). Одно из таких подразделений вы уже знаете — это прокариоты и эукариоты.

В 1969 г. американский биолог Роберт Уиттекер предложил различать пять царств живых существ (рис. 59). Все прокариоты были объединены в рамках царства *Монера*. Среди эукариот выделялись царства *Животные*, *Растения*, *Грибы* и *Протисты*.

Переход от одноклеточного состояния к многоклеточному был одним из важнейших шагов в эволюции живых существ, и совершался он независимо в разных группах эукариот. Первый этап этого перехода заключается в формировании многоклеточного организма в результате нерасхождения клеток, образовавшихся в ходе деления. При этом отдельные дочерние клетки, происходящие от одной материнской, удерживаются друг с другом механически при помощи слизи и т. п. От таких нестабильных клеточных объединений ведут два пути. Первый — это формирование разнообразных многоклеточных слоевищ (талломов), второй — совершенствование колониальной организации. Первый путь избрали многие низшие организмы. Это привело к появлению того многообразия талломов, которое характерно для багрянок, золотистых, жёлто-зелёных, зелёных, бурых и ряда других водорослей. При этом бурые водоросли вплотную подошли к тканевой организации. У некоторых их представителей (рис. 60) таллом отчётливо подразделяется на пластинку, ножку и ризоиды, имеются значительные различия между клетками поверхностных слоёв и сердцевины. Колониальные формы распространены не столь широко. Самые специализированные их представители, например вольвокс, также демонстрируют дифференциацию клеток: клетки, расположенные впереди, несут более развитые жгутики и глазки, имеются половые клетки и клетки, обеспечивающие бесполое размножение.



Рис. 60

Буряя водоросль фукус

Согласно этой классификации к царству животных относят многоклеточные организмы с тканевой организацией и гетеротрофным питанием. Это все животные, начиная с губок. В царство растений включают только высшие растения. Они представляют собой тканевые организмы, преимущественно наземные, автотрофные по способу питания, имеющие хлоропласты и клеточную стенку, в состав которой входит целлюлоза. Грибы отличает наличие мицелия, из которого построено их вегетативное тело.

Эти три царства эукариот отчётливо различаются и по своей экологической роли в биосфере: растения — это продуценты, животные — консументы, а грибы — редуценты (см. § 35).

Сложнее обстоит дело с царством протистов, куда попадают все дотканевые организмы, среди которых есть и автотрофы (водоросли), и гетеротрофы (инфузории, амёбы и др.), а также существа, способ питания которых может меняться в зависимости от условий среды (например, эвглена на свету фотосинтезирует, а в темноте переходит к гетеротрофии).

Практически все протисты подвижны хотя бы на одной стадии жизненного цикла (у водорослей это зооспоры и гаметы). Причём имеют место весьма разнообразные способы движения: при помощи жгутиков и ресничек, амёбоидное и скользкое (диатомеи). У протистов мы сталкиваемся с разными вариантами строения хлоропластов, клеточных покровов и др. Здесь обнаруживаются самые разнообразные типы жизненных циклов, в которых причудливым образом сочетаются разные поколения (стадии).

Подобное многообразие протистов не удивительно. Именно на уровне дотканевых эукариот шла эволюция эукариотной организации, формировались разные

клеточные системы, которые закреплялись затем у высших эукариот, использовались все возможности одноклеточного организма и апробировались разные варианты выхода за пределы этого состояния, шло становление полового процесса и испытывались различные типы жизненных циклов (подробнее см. § 78). Царство протистов, таким образом, объединяет все результаты «эволюционных экспериментов» дотканевого уровня организации эукариот и потому не может быть цельным.

СОВРЕМЕННЫЕ ВЗГЛЯДЫ НА СИСТЕМУ ЦАРСТВ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ. Накопленные к настоящему времени данные, в первую очередь молекулярно-биологические, свидетельствуют, что монеры не являются единой группой, а отчётливо распадаются на два царства — **Бактерии** и **Археи**. Археи живут в экстремальных условиях, например в горячих источниках. От бактерий их отличают особенности химического состава и строения мембран, организация генома, которая ближе к характерной для эукариот. Видимо, от близких к археям древних прокариот и произошли в ходе эволюции эукариоты.

Широкое внедрение методов молекулярной биологии привело к подлинной революции и в систематике эукариот. Оказалось, что различий в последовательности нуклеотидов в одних и тех же генах (или участках генов) между некоторыми группами протистов не меньше, а подчас и больше, чем между представителями, например, царств растений и грибов или растений и животных. Это подтверждает сборный характер царства протистов, на что мы уже обратили внимание выше.

Предлагаются различные варианты системы эукариот, в большинстве которых число царств существенно увеличивается (вплоть до 18). Идёт активный поиск объективных подходов, которые позволили бы объединить представления, выработанные в рамках классической ботаники и зоологии, и данные, полученные с помощью молекулярно-биологических методов. Процесс этот ещё не завершён, но уже сейчас очевидно, что реальное разнообразие эукариотических организмов чрезвычайно велико и не укладывается не только в рамки аристотелевской классификации, но даже и в те четыре царства эукариот, которые мы описали.

Выделение высших таксонов живых организмов — царств — на основе классических критериев не соответствует современным данным. В то же время этих данных пока ещё недостаточно, чтобы чётко определить число и состав царств живых организмов, населяющих нашу планету.

**В новый
портфель**

??

- ▶ Почему необходима классификация живых существ?
- ▶ Какие критерии использовали Аристотель, Линней и Ламарк для выделения царств растений и животных?
- ▶ Какие подуровни внутри онтогенетического уровня организации живого можно выделить?
- ▶ Почему до сих пор нет общепринятой классификации живого?

51 КАК РЕАЛИЗУЕТСЯ ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Урок-лекция

Можно объясниться с теми, кто говорит на другом языке, но не с теми, кто в те же слова вкладывает совсем другой смысл.

Ж. Ростан

?

Что представляет собой генетический код? Как информация о белке считывается с ДНК? Как эта информация транслируется в виде последовательности аминокислот в белке?

Ключевые
слова

Генетический код • Кодон • Структурный ген • Транскрипция • Трансляция • Антикодон

Из старого
портфеля

Генетическая информация (см. § 30). Нуклеиновые кислоты. Нуклеотиды. Аминокислоты и белки. Ферменты. Принцип комплементарности. мРНК. тРНК. Строение рибосом. Пластический обмен (см. § 29—33; Биология, 9 кл.).

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИИ В ЖИВЫХ СИСТЕМАХ. Вы уже рассмотрели много примеров того, как состав химических соединений отражается на их свойствах. Взаимозависимость состава и свойств в биологических системах значительно сложнее. Речь идёт о кодировании в структуре молекулы ДНК сведений о совершенно других веществе — белках, каждый из которых обладает своими собственными свойствами, определяемыми его структурой, и выполняет определённую функцию. Собственно, механизм такого преобразования информации, заключённой в структуре ДНК, в структуру белка и является фундаментальным свойством живого, определившим появление в природе такого феномена, как жизнь (см. § 29, 30, 77).

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД. Со времени открытия Джеймсом Уотсоном и Фрэнсисом Криком строения ДНК (1953) учёные стали искать ключ к тому шифру, с помощью которого на молекуле ДНК записана информация о белке, т. е. к **генетическому коду**. Вспомним, что в белковом «алфавите» 20 «букв»-аминокислот, а «букв»-нуклеотидов в составе ДНК всего четыре. Если каждый нуклеотид соответствовал бы только одной аминокислоте, то 16 аминокислот не имели бы шанса попасть в белок. Если бы «слова» генетического кода состояли из двух «букв»-нуклеотидов, то число возможных комбинаций увеличилось бы до $4^2 = 16$, что тоже недостаточно. А вот сочетание по три (триплет) из четырёх «букв»-нуклеотидов даёт $4^3 = 64$ комбинации, которых хватает с избытком. Экспериментально установлено, что генетический код действительно читается группами по три нуклеотида, т. е. *код триплетен*. Каждый триплет кодирует одну аминокислоту и называется **кодоном**.

Важнейшими характеристиками генетического кода, помимо его триплетности, являются следующие:

- код *однозначен*; каждый триплет шифрует только одну аминокислоту;
- код *вырожден*, т. е. почти каждая аминокислота шифруется более чем одним кодоном (от двух до шести);
- код *универсален*, он един для всех живых существ на Земле.

ТРАНСКРИПЦИЯ. Участки ДНК, кодирующие последовательность аминокислот в молекуле белка, получили название **структурных генов**. Реализация записанной на них информации начинается с **транскрипции** — создания РНК-копии структурного гена (рис. 61).

Важная роль в процессе транскрипции принадлежит ферменту РНК-полимеразе. Он распознаёт начало структурного гена, присоединяется к нему и тем самым провоцирует раскручивание витка спирали ДНК. При этом обнажается участок одноцепочечной ДНК, который должен послужить матрицей для создания на нём РНК-копии. Процесс этот протекает в строгом соответствии с принципом комплементарности и сходен с образованием новой цепи ДНК в ходе репликации (см. § 30). РНК-полимераза перемещается по матричной цепи ДНК и постепенно наращивает комплементарную ей цепь РНК. Фермент продолжает присоединять нуклеотиды к растущей цепи РНК, пока не дойдёт до конца гена. Достигнув этой точки, РНК-полимераза сходит с цепи ДНК, а затем от неё отсоединяется и образовавшаяся РНК-копия, называемая информационной или матричной РНК (мРНК). Вслед за этим цепочки ДНК расплетённого участка соединяются вновь и восстанавливают форму двойной спирали. Транскрипция завершена, мРНК поступает через ядерные поры в цитоплазму.

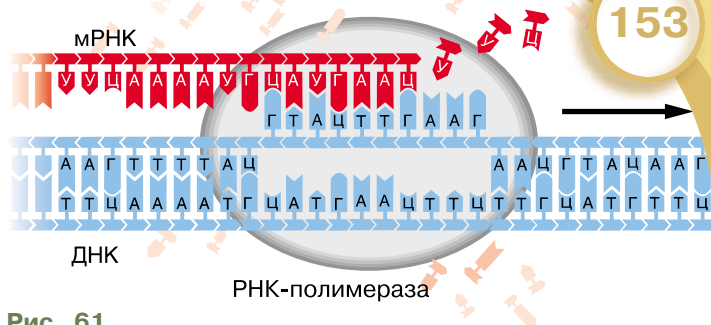


Рис. 61
Схема транскрипции

ТРАНСЛЯЦИЯ. В ходе **трансляции** информация, записанная на мРНК в виде последовательности нуклеотидов, преобразуется в последовательность аминокислот. Процесс этот протекает на рибосомах, и для его успешной реализации необходим ещё один тип РНК — короткие транспортные РНК (тРНК). Каждая молекула тРНК имеет определённую пространственную конфигурацию, несколько напоминающую листок клевера (рис. 62).

В центре молекулы (на верхушке «листка клевера») располагается триплет — **антикодон**, способный связываться с комплементарным ему триплетом (кодоном) мРНК. Триплет на конце тРНК может образовывать ковалентную связь со специфической аминокислотой. В клетке существуют тРНК с разными антикодонами, соответственно способные связываться с каждой из 20 аминокислот, необходимых для синтеза белка.

Сама рибосома представляет собой сложную биохимическую систему, предназначенную для синтеза белка в соответствии с инструкциями, записанными в структуре мРНК. Сначала рибосома связывается с мРНК, а вслед за этим к комплексу мРНК—рибосома присоединяется несущая аминокислоту тРНК, антикодон которой комплементарен первому кодону мРНК (рис. 63, а). Затем рядом с первой тРНК присоединяется вторая с антикодоном, комплементарным второму кодону мРНК, и т. д. Специальный фермент связывает между собой две аминокислоты, доставленные этими двумя тРНК, которые пока ещё остаются присоединёнными к комплексу. После этого первая тРНК покидает рибосому,

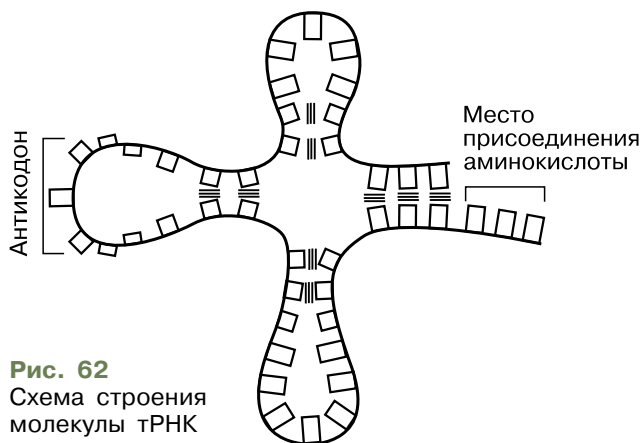


Рис. 62
Схема строения молекулы тРНК

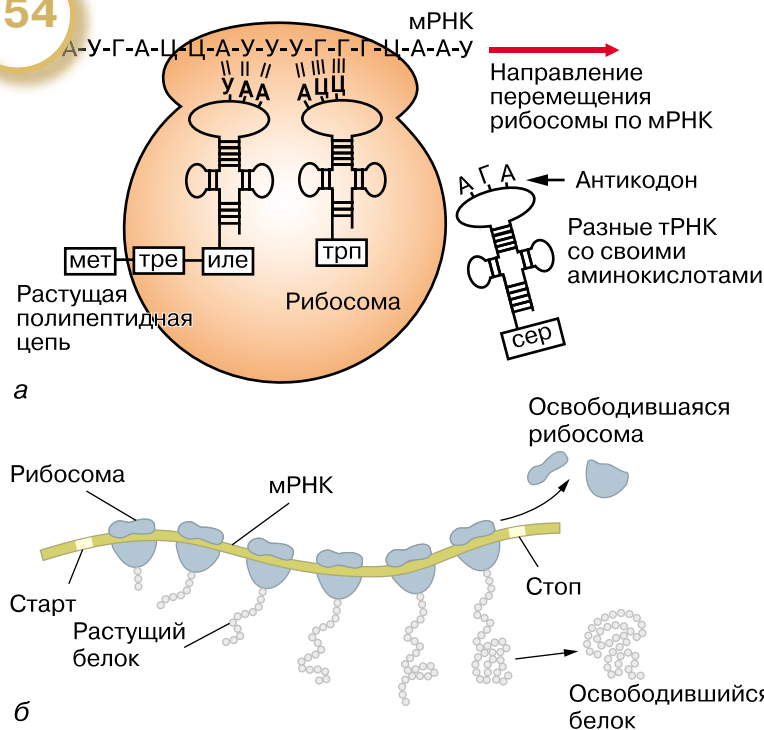


Рис. 63

Биосинтез белка (а)
и схема строения полисомы (б)

чтобы присоединить новую молекулу соответствующей ей аминокислоты. Тем временем рибосома продвигается вдоль мРНК и вторая тРНК с присоединённой к ней аминокислотой занимает место первой. Всё это повторяется многократно до тех пор, пока рибосома не дойдёт до стоп-кодона на мРНК, которым заканчивается любой структурный ген. Достигнув его, рибосома и вновь синтезированный белок отсоединяются от мРНК и переходят в цитоплазму клетки.

К одной молекуле мРНК прикрепляется обычно много рибосом, которые, продвигаясь вдоль неё, транслируют новые молекулы белка

(рис. 63, б). Такая структура получила название *полисомы*. Рибосомы работают очень эффективно: за 1 с в организме человека синтезируется $5 \cdot 10^{14}$ молекул гемоглобина — белка с уникальной последовательностью из 574 аминокислот.

Процесс биосинтеза белка — один из самых энергоёмких в реакциях пластического обмена клетки. На образование одной пептидной связи в синтезируемом белке расходуется одна молекула АТФ. Также энергия АТФ расходуется на движение мРНК по рибосоме.

В новый портфель

Информация о строении и функционировании организма (генетическая информация) записана в молекулах ДНК в виде определённой последовательности нуклеотидов — генетического кода. Генетический код одинаков у всех живущих на Земле организмов — животных, растений, грибов, бактерий и архей, что свидетельствует об общности их происхождения. Процессы реализации генетической информации также сходны у всех живых организмов. Передача генетической информации идёт по цепочке ДНК — мРНК — белок. Этот процесс происходит при участии многих ферментов и требует затрат энергии, поставляемой АТФ. В ходе транскрипции происходит матричный синтез мРНК с участка ДНК — структурного гена, несущего информацию о белке. Синтез белка в соответствии с записанной на мРНК информацией (трансляция) происходит на рибосомах, куда молекулами тРНК доставляются аминокислоты.

??

- ▷ Что такое генетический код?
- ▷ Как происходит преобразование генетической информации?
- ▷ Как устроены тРНК?
- ▷ Как происходит синтез белка на рибосоме?
- ▶ Почему носителями генетической информации являются именно нуклеиновые кислоты?

52 ЗАВИСИМОСТЬ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ ОТ СТРУКТУРЫ И СОСТАВА — ОПЫТ ИСКУССТВА

155

Урок-семинар

Живописцы, окуните ваши кисти
В суету дворов арбатских и зарю,
Чтобы были ваши кисти словно листья,
Словно листья, словно листья к ноябрю.

Б. Окуджава

?

Может ли изобразительное искусство обогатить наши представления о взаимосвязи состава, структуры и свойств объектов? Какие новые, неожиданные аспекты этой проблемы способно открыть искусство? Может ли искусство помочь науке воссоздать многомерную картину мира?

История (разделы по художественной культуре): импрессионизм как явление художественной культуры, эксперименты и открытия импрессионистов (Всеобщая история. История Нового времени, 8 кл.). Основные стили и направления в живописи, графике и скульптуре (Изобразительное искусство, 5—7 кл.; Искусство, 8—9 кл.). Физика: явление диффузии, оптика (Физика, 8—9 кл.).

Из старого
портфеля

ЦЕЛЬ СЕМИНАРА. Показать роль и значение искусства как способа познания окружающего мира для расширения сферы естественно-научных представлений о взаимосвязи состава, структуры и свойств объектов.

ПЛАН СЕМИНАРА

1. Выявление взаимосвязи характера произведения изобразительного искусства, состава и структуры красочного материала, способов получения цвета.
2. Характер произведения изобразительного искусства и техника его создания.

В течение многих столетий секрет взаимосвязи структуры и свойств объектов пытались раскрыть не только учёные и философы, но и живописцы, которые осознавали, какое важное значение для реализации их творческого замысла имеет структура: основа, на которой создано произведение, тип красочного материала, техника его наложения, способы получения цвета и др.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 1

Для создания нужного впечатления художнику чрезвычайно важно определить, как именно будет наложен на основу красочный слой. Обычно используются разнообразные кисти (большие и маленькие, толстые и тонкие, короткие и длинные, изготовленные из разного материала), иногда — специальные инструменты. Они позволяют сделать красочный слой лёгким, почти прозрачным или, наоборот, очень густым.

Рассмотрите репродукцию картины Ван Гога «Стая ворон над полем».



Винсент Ван Гог. Стая ворон над полем

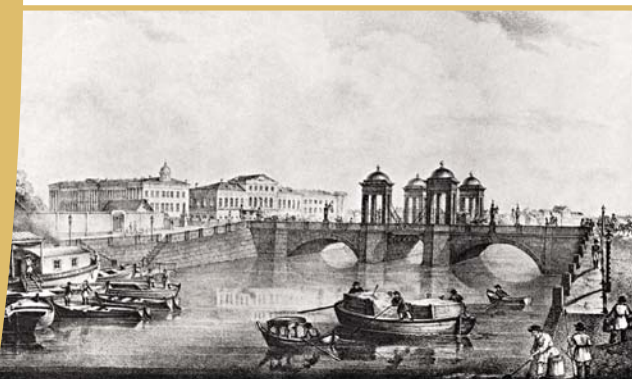
Обратите внимание на то, как по-особенному выглядит поверхность картины (художник иногда выдавливал краску из тюбика на холст и размазывал пальцами). Что, с вашей точки зрения, создаёт такое объёмное изображение? Что вы чувствуете, когда рассматриваете это произведение? Обсудите свои ощущения.



Сильвестр Ф. Щедрин. Вид с Петровского острова в Петербурге



Максим Воробьёв. Большая Нева



Карл Беггров. Обуховский мост через Фонтанку

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 2

Живописцев всегда интересовало, связаны ли между собой характер произведения и особенности красочного материала. Разобраться в этом нам помогут три картины с видами Санкт-Петербурга, созданные разными художниками в разное время.

Рассмотрите эти картины и почувствуйте настроение каждого произведения. Попробуйте описать словами это настроение. Сравните свои впечатления и обсудите, зависит ли характер изображения от того, выполнено ли оно густыми масляными красками (у Щедрина), прозрачной лёгкой акварелью (у Воробьёва) или в чёрно-белой технике литографии (у Беггрова). Поясните свою точку зрения, опираясь на то, что вы видите.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 3

Что происходит с изображением, когда автор использует разные техники получения из семи простых цветов спектра бесконечного цветового разнообразия?

Рассмотрите репродукцию картины импрессиониста Клода Моне.

Художник сумел передать ощущение простора, воздуха, движения волн, с шумом и брызгами разбивающихся о подножие скал. Чтобы понять, как ему это удалось, присмотритесь к изображению воды и воздуха — структуре цвета и порядку расположения мазков краски на холсте. Что особенного вы сумели подметить в изображении? Обсудите свои наблюдения.

А теперь сравните, как написано море у К. Моне (или других импрессионистов) и у выдающегося художника-мариниста И. К. Айвазовского.

Заметили ли вы разницу? Как вы думаете, влияют ли структура и порядок нанесения цветовых мазков на характер и настроение, которые зритель ощущает в картине? Аргументируйте своё мнение.

Как вы думаете, почему именно такую технику письма использовал Моне? Возможно, ответ на вопрос вам поможет найти хорошо знакомое из курса физики

явление диффузии. Если сразу ответить на вопросы сложно, воспользуйтесь дополнительным текстом (см. ниже).

Импрессионисты стремились запечатлеть изменчивость окружающего мира. Они заметили, что цвет и объём предметов могут изменяться в зависимости от освещения, времени суток или цвета находящихся рядом предметов. Художники перестали работать в закрытых студиях и вышли на природу. Живописцы мечтали передать на холсте то, что видит глаз. Для этого понадобилось изменить манеру письма: отказаться от тщательного рисунка, заменив его несколькими штрихами, дающими общее впечатление, силуэт; работать так быстро, чтобы рука успевала зафиксировать малейшее изменение в природе, и, что особенно важно, писать «чистыми» красками, не смешивая их на палитре (последнее было подсказано игрой света на поверхности воды). Красочные мазки накладывались тесно один к другому, уже на холсте сливаясь в нужную гамму.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 4

Задумывая произведение, мастер тщательно подбирает основу (холст, деревянную доску, стеклянную панель, медную пластину, камень или что-то другое), размышляя о том, насколько её структура соответствует художественному замыслу.

Сравните изображения, основой для которых послужил разный материал: деревянная доска для иконы, стекло для витража и специальные нитки для гобелена. Как, по-вашему, структура основы произведения помогает понять смысл, который хотел донести до зрителя автор? Аргументируйте свою точку зрения.



Фрагмент шпалеры «Заяц и собака»



Клод Моне. Скалы в Бель-Иль



И. К. Айвазовский. Утро на море



Эжен Грассе. Весна



Икона. Борис и Глеб

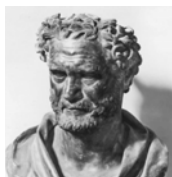
ОБОБЩЕНИЕ И ОСМЫСЛЕНИЕ МАТЕРИАЛА ГЛАВЫ

История какой-нибудь науки есть
страница истории человеческого духа.
Ю. Либих

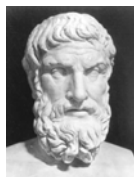
Античность



Атомистика



Демокрит
(460—370 гг. до н. э.)

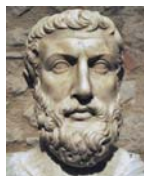


Эпикур
(341—270 гг. до н. э.)



Тит Лукреций Кар
(I в. до н. э.)

Поэма
«О природе
вещей»



Парменид из Элеи
(540—450 гг. до н. э.)

Элементаризм



Эмпедокл
(490—430 гг. до н. э.)



Аристотель
(384—322 гг. до н. э.)



Золотой век греческой науки Философские школы



Свойства природных объектов есть отражение системных связей между образующими их структурами. Всё в природе состоит из одних и тех же химических элементов, которые образуют многообразие природных веществ.

Организация молекулярно-генетического строения всех живых организмов, в том числе и человека, основана на взаимодействии веществ. Жизненные процессы во всех организмах есть результат сложных биохимических превращений.

Знание связи между строением и свойствами природных объектов позволяет человеку осознать своё место и предназначение в природе. Постигая устройство и принципы функционирования природы, человек может успешно применять знания природных закономерностей в практической деятельности.

Если я видел дальше других, то это потому,
что я стоял на плечах гигантов.

И. Ньютон

Позднее Средневековье

Эпоха Просвещения



Галилео
Галилей
(1564—1642)

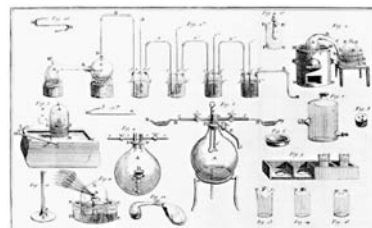


Пьер
Гассенди
(1592—1655)

Флогистонная теория



Георг Эрнест
Шталь
(1659—1734)



Корпускулярные теории XVII века



**Становление экспериментального
естествознания**



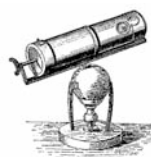
Роберт Бойль
(1627—1691)



Исаак Ньютон
(1643—1727)



Джозеф
Пристли
(1733—1804)



**Развитие математического анализа
Становление классической физики**

Кислородная теория горения



Карл Вильгельм
Шееле
(1742—1786)



Антуан Лоран
Лавуазье
(1743—1794)



ЗАДАНИЕ

Напишите эссе, взяв за основу одно из приведённых высказываний. Раскройте его смысл, обозначив разные аспекты затронутой автором темы. При изложении своих мыслей, аргументации своей точки зрения используйте знания, полученные при изучении курсов физики, химии, биологии, естествознания, истории науки, а также собственный жизненный опыт.

Дмитрий Иванович Менделеев, русский учёный-энциклопедист: «Вся сущность теоретического учения в химии лежит в отвлечённом понятии об элементах. Найти их коренные свойства, определить причину их различия и сходства, а потом на основании этого предугадать свойства образуемых ими тел — вот путь, по которому наша наука твёрдо пошла со времён Лавуазье».

Ричард Филлипс Фейнман, американский физик-теоретик: «Если бы в результате какой-либо мировой катастрофы все накопленные научные знания оказались бы уничтоженными и к грядущим поколениям перешла бы только одна фраза, то какое утверждение, составленное из наименьшего количества слов, принесло бы наибольшую информацию?! Я считаю, что это атомная гипотеза...»

4

ГЛАВА

ПРИРОДА В ДВИЖЕНИИ, ДВИЖЕНИЕ В ПРИРОДЕ

53 ДВИЖЕНИЕ КАК ПЕРЕМЕЩЕНИЕ

Урок-лекция

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. С. Пушкин

?

Что такое механическое движение? Что означает относительность механического движения? Какими характеристиками описывается механическое движение? В чём причина механического движения?

Ключевые
слова

Относительность движения • Кинематика • Материальная точка •
Траектория движения • Динамика • Инерциальная система отсчёта

Из старого
портфеля

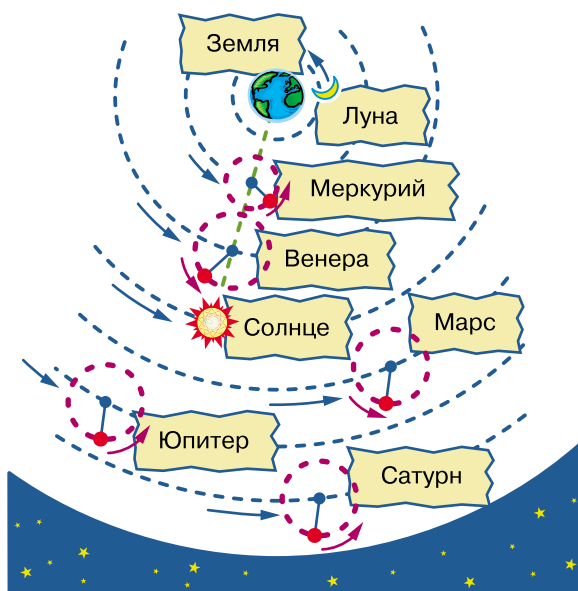
Механическое движение. Путь. Скорость. Ускорение. Движение по окружности. Инерция. Первый закон Ньютона. Взаимодействие тел. Масса. Плотность. Сила. Сложение сил. Второй закон Ньютона (Физика, 7—9 кл.).

ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ. Движение как процесс изменения положения тела в пространстве относительно другого тела с течением времени называют *механическим движением*. Тело, относительно которого рассматривают движение, связанная с ним система координат и часы для измерения времени образуют *систему отсчёта*.

Ещё Галилей установил характер **относительности движения**. С давних времён людей интересовал вопрос: не существует ли какой-либо абсолютно покоящейся системы отсчёта? Древний философ Птолемей считал, что такой системой является наша Земля, а остальные небесные тела и другие объекты движутся относительно Земли. На рисунке 64, а приведена схема движения небесных тел по Птолемию. Система мира, центром которого является Земля, называется *геоцентрической*.

Коперник предложил описывать движение планет в другой системе отсчёта, где неподвижным является Солнце. Схема движения планет в этом случае выглядит так, как показано на рисунке 64, б. Система Коперника называется *гелиоцентрической*.

Так в чём же прав «упрямый Галилей»? На первый взгляд может показаться, что схема движения по Копернику проще, чем схема движения по Птолемию. Но простота эта кажущаяся. Чтобы наблюдать движение планет вокруг Солнца, нам необходимо удалиться от Сол-



а



б

Рис. 64

Система движения планет: а — по Птолемею; б — по Копернику (современные представления)

Механическое движение имеет относительный характер, т. е. движение всегда происходит относительно некоторой системы отсчёта. При кинематическом описании движения все системы отсчёта эквивалентны.

**В новый
портфель**

нечной системы на значительное расстояние, чего мы не можем сделать даже в настоящее время. Мы наблюдаем движение, находясь на нашей планете, и наблюдаем, как и написал Пушкин, что «пред нами солнце ходит». Может быть, Галилею не стоило упрямыться? Оказывается, это не совсем так. Описание движения в различных системах отсчёта (Птолемея и Коперника) эквивалентны, пока мы исследуем **кинматику** движения, т. е. пока не рассматриваем причины, вызывающие движение.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИЖЕНИЯ. До сих пор мы говорили лишь о качественном описании движения. Но в естественных науках важно уметь описывать процессы количественно. Сделать это не так просто. Попробуйте описать движение птицы в полёте. Но если вас не интересуют отдельные детали, вы можете смоделировать движение птицы как движение некоторого малого объекта. В физике для обозначения такого объекта используют понятие **материальная точка**.

Движение материальной точки описывается наиболее просто — при помощи введения **системы координат**. При движении материальной точки её координаты изменяются.

Во времена Галилея споры о правильном описании движения планет носили нешуточный характер. Но в силу относительности движения оба описания можно признать эквивалентными, они просто соответствуют описанию движения в разных системах отсчёта. Солнце вместе с другими звёздами движется вокруг центра Галактики. Галактика, как и другие наблюдаемые астрономами галактики, также движется. Чего-то, что можно было бы считать абсолютно неподвижным во Вселенной, не обнаружено.

Напомним, что характеристику движения, показывающую, насколько изменяются координаты со временем, называют скоростью. Движение, при котором скорость остаётся постоянной по модулю и направлению, называют равномерным движением. Изменение скорости называют ускорением. Материальная точка движется с ускорением, если её скорость изменяется по числовому значению, по направлению или одновременно по значению и направлению.



Рис. 65

Фотография: движение звёзд, снятое при длительной экспозиции

Важной характеристикой движения материальной точки является **траектория движения**. Траекторией называют воображаемую линию в пространстве, по которой движется материальная точка. Однако иногда траекторию можно увидеть. Например, трассирующие пули оставляют след в виде светящейся линии в темноте. Другой пример — след падающей звезды (метеора) в атмосфере. Мы можем увидеть траектории движения звёзд на небесной сфере, если сделаем фотографию небесной сферы, открыв объектив фотоаппарата на длительное время (рис. 65).

До сих пор мы говорили о движении материальной точки. А как описать движение более сложных объектов? Для этого необходимо мысленно разбить объект на отдельные точки и описать движение каждой из них. В простейшем случае, например при движении футбольного мяча или Земли вокруг Солнца, та-

кое движение можно представить как поступательное движение плюс вращение. В более сложном случае, например при полёте птицы, движение каждой точки придётся описывать отдельно. Именно так поступают компьютерные программы, анимирующие движение какого-либо персонажа на экране монитора.

В новый портфель

Для описания движения объекта вводится система координат. Простейшее движение — движение материальной точки — описывается как изменение координат. Для описания движения сложных объектов необходимо описать движение каждой точки, на которые можно мысленно разбить объект.

ПРИЧИНЫ ДВИЖЕНИЯ. Раздел механики, который описывает причины возникновения и изменения движения тел, называется **динамикой**. Историческое развитие динамики шло непростым путём.

Древнегреческий философ Аристотель считал, что для равномерного движения тела необходимо воздействие на него некоторой силы. Галилей, проделав ряд опытов, пришёл к выводу, что тело движется равномерно в случае, когда оно не взаимодействует с другими телами. В том, что это не совсем так, вы можете убедиться на простейшем опыте (хотя бы мысленном). Представьте, что в поезде метро посередине пустого вагона лежит мяч. Что будет с мячом, когда вагон тронется? В отсутствие дополнительных сил мяч начнёт двигаться с ускорением. Чтобы уточнить формулировку Галилея, Ньютон ввёл понятие **инерциальная система отсчёта**. Инерциальной системой отсчёта называют такую систему, в которой тело в отсутствие взаимодействия с другими телами покоится или движется равномерно. В рассмотренном выше примере вагон метро является неинерциальной системой отсчёта. Такой системой является любая система отсчёта, движущаяся с ускорением относительно инерциальной системы отсчёта.

Оказывается, что, строго говоря, инерциальных систем отсчёта в природе нет. Например, стол учителя в вашем классе вращается вместе с Землёй, а следовательно, движется с ускорением. Однако во многих случаях, например при демонстрации школьных опытов, такая система отсчёта может рассматриваться как приближённо инерциальная. А вот если мы попытаемся описать в этой системе отсчёта движение планет, то это будет совершенно неправильно. Для описания движения планет инерциальной системой отсчёта можно приближённо считать систему, центр которой находится в центре Солнца, а оси ориентированы по

звёздам. Именно по этой причине движение небесных тел в системе Коперника описывается точнее, чем в системе Птолемея.

Мы приходим, таким образом, к выводу, который известен как первый закон Ньютона: в инерциальной системе отсчёта тело, не взаимодействующее с другими телами, покоится или движется равномерно.

Но равномерное движение есть лишь частный, практически нереализуемый случай движения. Все реально наблюдаемые нами тела движутся с ускорением. Причины движения с ускорением формулируются во втором законе Ньютона, который вам также знаком из курса физики: ускорение тела в инерциальной системе отсчёта пропорционально сумме всех сил, действующих на него, и обратно пропорционально массе тела.

??

- ▷ В чём смысл относительности механического движения?
- ▷ Каковы причины движения тел?
- ▷ По плоту, движущемуся по течению реки, перпендикулярно скорости движения плоту и со скоростью, в 2 раза большей скорости течения, идёт человек. Нарисуйте траекторию движения человека относительно берега.

54 ВИДИМОЕ ДВИЖЕНИЕ ПЛАНЕТ

Урок-практикум

Всё, что выходит за рамки геометрии,
выходит за рамки нашего понимания.

Б. Паскаль

?

Как построить траектории движения планет Солнечной системы в геоцентрической и гелиоцентрической системах отсчёта? Почему планеты на небесной сфере описывают петлю? От чего зависит угловой размер петли планеты? Как Коперник оценил относительные расстояния от Солнца до планет?

Закон всемирного тяготения. Геоцентрическая и гелиоцентрическая системы мира (Физика, 9 кл.).

Из старого
портфеля

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Научиться строить траектории движения тел в разных системах отсчёта.

ПЛАН РАБОТЫ

1. Определить по результатам наблюдений, как зависит скорость обращения планеты вокруг Солнца от расстояния планеты до Солнца.
2. Построить кривую видимого движения планеты Марс на небесной сфере.

1. В таблице приведены результаты наблюдений за планетами Солнечной системы: их периоды обращения вокруг Солнца относительно звёзд (T); средние расстояния от планет до Солнца (r , даны в астрономических единицах (а. е.), т. е. в единицах среднего расстояния от Земли до Солнца, которое составляет 149,6 млн км).

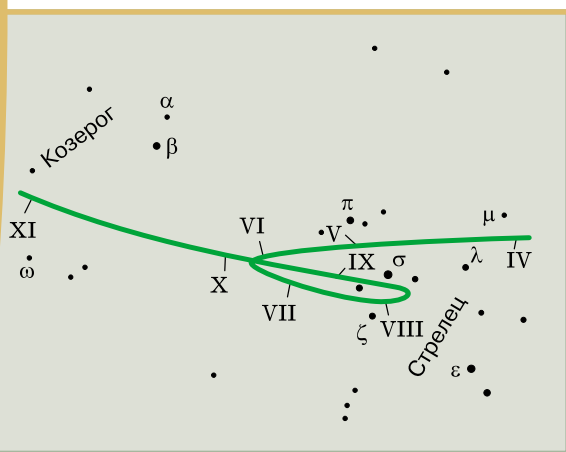
Проанализировав таблицу, ответьте на вопрос: какова зависимость линейной скорости обращения планеты от расстояния до Солнца? Оцените примерную линейную скорость движения планет вокруг Солнца. Сделайте вывод о зависимости скорости движения планеты вокруг Солнца от расстояния планеты до Солнца. Заполните таблицу.

ПОДСКАЗКА

Скорость связана с радиусом окружности и периодом формулой $v = 2\pi r/T$. Для расчёта переведите расстояния в километры, периоды в секунды.

Планета	Период обращения вокруг Солнца T , лет	Период обращения вокруг Солнца T , с	Среднее расстояние до Солнца r , а. е.	Среднее расстояние до Солнца r , км	Линейная скорость движения v , км/с
Меркурий	0,24		0,39		
Венера	0,62		0,72		
Земля	1,00		1,00		
Марс	1,88		1,52		
Юпитер	11,86		5,20		
Сатурн	29,46		9,54		
Уран	84,02		19,19		
Нептун	164,80		30,07		

2. В соответствии с законами Кеплера планеты движутся по эллиптическим орбитам, близким к круговым. При этом согласно третьему закону Кеплера радиус r орбиты и период обращения T связаны соотношением $T^2 = Cr^3$, где C — постоянная для всех тел Солнечной системы величина. Проверьте это соотношение по данным таблицы.



Петлеобразная траектория Марса

3. Постройте петлю попятного движения планеты Марс по небесной сфере геометрическим способом с точки зрения земного наблюдателя, имея в виду, что планеты движутся вокруг Солнца (по Копернику). Ответьте на вопросы:
1. От чего зависит угловой размер петли видимого движения планеты? Для ответа на этот вопрос постройте петлю видимого с Земли движения планеты Сатурн и сравните с угловым размером петли попятного движения Марса.
 2. Почему земному наблюдателю кажется, что планета на небесной сфере описывает развёрнутую петлю, а не просто движется вперёд-назад, как получилось на нашем рисунке?

ПОДСКАЗКА

Для выполнения задания нарисуйте схему, на которой покажите положение Солнца, орбиту Земли (приблизительно в виде окружности), орбиту Марса, который расположен, как видно из таблицы, на расстоянии, в 1,5 раза большем, чем расстояние от Земли до Солнца. Наблюдателю с Земли кажется, что планета описывает петлю, когда Земля обгоняет в своём движении внешнюю планету, например Марс, или внутренняя планета, например Венера, обгоняет в своём орбитальном движении Землю.

Расположите на орбитах Землю и Марс вблизи этого положения. Отметьте несколько точек на траекториях этих планет (1, 2, ..., 8), соответствующих восьми положениям планет. Учтите, что Марс движется медленнее Земли примерно в 1,2 раза. Обозначьте сферу неподвижных звёзд. На ней постройте серию видимых положений планет с точки зрения земного наблюдателя (1, 2, ..., 8). Для этого используйте прямую линию (луч зрения), соединяющую соответствующие положения Земли и Марса в определённые моменты времени (1, 2, ..., 8). На рисунке 66 показаны лишь видимые положения планет в момент времени 1. Достройте положения 2, 3, ..., 8 и убедитесь в том, что земному наблюдателю кажется в период, когда Земля обгоняет Марс в своём орбитальном движении, что на небесной сфере Марс сначала движется прямо на фоне звёзд (с запада на восток), потом останавливается, поворачивает обратно (попятное движение) и после этого снова движется вперёд.

Наблюдателю кажется, что планеты описывают петлю, потому что в это время в своём движении по орбите Земля обгоняет внешнюю планету или внутренняя планета обгоняет Землю. Это объясняется относительностью движения. Чем дальше планета от Земли, тем меньшие угловые размеры имеет петля. Из-за некоторого угла наклона орбит планет петля кажется развёрнутой.

Дополнительные источники информации

1. Белонучкин В. Е. Кеплер, Ньютон и все, все, все / В. Е. Белонучкин. — М.: Наука, 1990.
2. Вajorов Э. Наблюдения звёздного неба в бинокль и подзорную трубу / Э. Вajorов. — М.: Наука, 2007.
3. Ляхова К. А. Популярная история астрономии и космических исследований / К. А. Ляхова. — М.: Вече, 2002.
4. Нагирнер Д. И. Элементы космологии / Д. И. Нагирнер. — СПб.: Изд-во СПбГУ, 2001.

Слова для поискового запроса: астрономия, движение небесных тел, космос, Солнечная система.

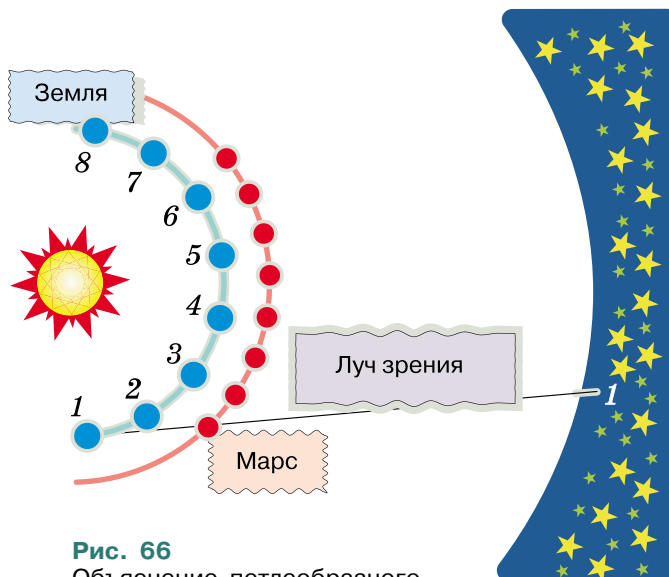


Рис. 66
Объяснение петлеобразного движения планет

Видимое движение планет на небесной сфере — это отражение движения с точки зрения земного наблюдателя. Геометрические построения и данные наблюдений позволяют оценить относительные расстояния до планет. Впервые такую оценку сделал Коперник, описывая свою гелиоцентрическую систему мира.

В новый портфель

55 ПРИЧИНЫ МЕХАНИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ. ДЕТЕРМИНИЗМ

Урок-лекция

Дело не в дороге, которую мы выбираем;
то, что внутри нас, заставляет нас выбрать дорогу.
О'Генри

?

Какими факторами определяется движение тел с точки зрения механики? Что такое состояние системы с точки зрения механики? Что такое детерминизм? В чём смысл лапласовского детерминизма? Как связаны лапласовский детерминизм и жизнь человека? Справедлива ли концепция лапласовского детерминизма с точки зрения современной науки?

Ключевые
слова

Состояние системы • Детерминизм

Из старого
портфеля

Механическое движение. Взаимодействие тел. Электрическое поле. Магнитное поле. Квантовые явления (Физика, 7—9 кл.).

СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ И ХАРАКТЕР ДВИЖЕНИЯ ТЕЛ СИСТЕМЫ. Мы уже говорили, что причина движения тел — взаимодействие с другими телами. Мерой такого взаимодействия являются силы. Но характер движения тел зависит не только от сил. Вы можете бросить тело вверх или в сторону. В обоих случаях сила, действующая на тело, одинакова — это сила тяжести. Однако движения тел различны. Точно так же при одинаковой гравитационной силе тело может двигаться по разным траекториям — окружности, эллипсу, параболе. От чего же ещё зависит характер движения тел?

На рисунке 67 изображено движение в более сложной системе — движение шаров на бильярдном столе. На рисунке 67, *а* стрелками показаны скорости шаров до столкновения (вверху) и после столкновения (внизу) при лобовом ударе движущегося шара о покоящийся шар; на рисунке 67, *б* — то же при скользящем ударе; на рисунке 67, *в* — в случае, когда шары движутся навстречу друг другу.

Анализируя процессы, изображённые на рисунке, можно прийти к выводу, что движение определяется начальным положением и начальными скоростями всех тел системы. Но, может быть, движение зависит от каких-либо ещё начальных характеристик, например начальных ускорений? Ответ простой. Согласно второму закону Ньютона ускорения

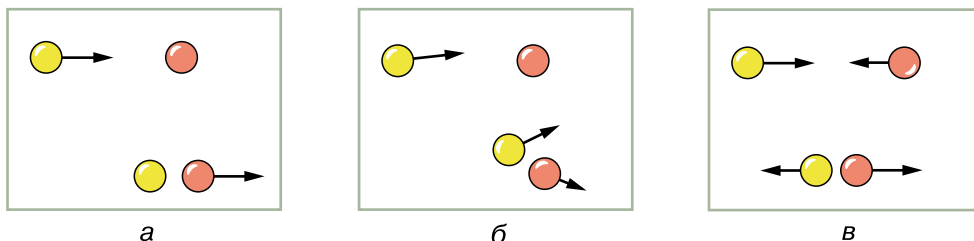


Рис. 67

Движение бильярдных шаров при различных начальных состояниях

полностью определяются силами. Таким образом, начальные ускорения определяются начальными силами, действующими между телами. Строгий математический анализ уравнений, следующих из второго закона Ньютона, показывает, что движение во все моменты времени полностью определяется силами, действующими между телами системы, начальными координатами тел и начальными скоростями.

Важность задания начальных координат и скоростей привела к появлению нового термина — **состояние системы**. Состоянием системы тел в данный момент времени называют совокупность координат и скоростей всех тел системы в этот момент. *Начальным состоянием* называют состояние системы в некоторый начальный момент времени.

Согласно законам классической (ньютоновской) механики движение системы, т. е. состояние системы в любой момент времени, полностью и однозначно определяется начальным состоянием системы и силами, действующими между телами системы. Заметим, что этот вывод относится ко всем моментам времени, в том числе и к предшествующим моментам. Зная состояние любой системы в настоящий момент времени, можно определить состояние в любой предшествующий момент времени.

В новый
портфель

ЛАПЛАСОВСКИЙ ДЕТЕРМИНИЗМ. Что же дают законы классической механики? Если мы будем знать все силы, действующие между частицами, из которых состоит наш мир, и каким-то образом сумеем узнать состояние мира (всех частиц) в настоящее время, то, пользуясь математикой, сможем предсказать будущее в любой последующий момент времени и восстановить прошлое, как бы далеко назад мы ни обратились.

Конечно, задача эта непосильна для человека. Во-первых, число частиц в мире огромно. По существующим оценкам, только число частиц в наблюдаемой нами части Вселенной превышает по крайней мере значение 10^{75} (число действительно астрономическое). Во-вторых, мы ещё недостаточно точно знаем силы, действующие между различными частицами. Важно, однако, что возможность точного предсказания будущего и изучения прошлого принципиально существует и может быть реализована если не человеческим, то, возможно, более высшим разумом.

Такая постановка задачи характерна для механистического, или лапласовского, **детерминизма** (по имени французского учёного Пьера Симона Лапласа (1749—1827), сформулировавшего этот принцип в начале XIX в.). Лаплас писал: «Мы должны рассматривать современное состояние Вселенной как результат её предшествующего состояния и причину последующего. Разум, который для какого-нибудь данного момента знал бы все силы, действующие в природе, и относительное расположение её составных частей, если бы он, кроме того, был достаточно обширен, чтобы подвергнуть эти данные анализу, объял бы в единой формуле движения самых огромных тел во Вселенной и самого лёгкого атома; для него не было бы ничего неясного, и будущее, как и прошлое, было бы у него перед глазами». Этот гипотетический разум иногда называют «демоном Лапласа».

Концепция лапласовского детерминизма могла служить (и, возможно, служила) для естественно-научного оправдания философской концепции *фатализма*. Фатализм утверждает, что всё будущее любого человека полностью предопределено и не зависит от его действий. Согласно этой концепции свободы выбора у человека нет, он идёт по заранее предначертанной для него дороге. Фатализм фактически оправдывает любые действия или бездействие человека, от человека как индивидуума ничего не зависит. Как бы нелепо это ни выглядело, но это логически следовало из законов классической механики.

Последующее развитие физики привело к тому, что наряду с частицами необходимо рассматривать в качестве одной из составляющих материи фундаментальные поля. К концу XIX в. было известно два таких поля (вам они тоже известны) — гравитационное и электромагнитное. Однако уравнения для этих полей были столь же детерминистичны, как и уравнения из законов Ньютона. Это означает, что знание полей в некоторый момент времени позволяло в принципе определить, какими были поля в прошлом, и предсказать, какими они будут в будущем. Таким образом, лапласовский детерминизм оставался справедливым и с учётом существования полей.

В новый портфель

Классическая физика, включающая механику и электродинамику, приводит к уравнениям, дающим принципиальную возможность по существующему состоянию мира сколь угодно точно определить, каким было прошлое нашего мира, и сколь угодно точно предсказать, каким будет будущее нашего мира в любой последующий момент времени. Это положение носит название *концепции лапласовского детерминизма*.

РАЗВИТИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК И КРАХ КОНЦЕПЦИИ ДЕТЕРМИНИЗМА. Последующее развитие естественных наук, которое началось на рубеже XIX—XX вв., привело к краху концепции детерминизма. Первый удар нанесла квантовая теория, описывающая движение в микромире. Согласно квантовой теории все события, происходящие в микромире, имеют вероятностный характер. Например, при столкновении двух атомов водорода может образоваться молекула водорода, а может этого и не произойти (атомы пролетят мимо друг друга). Принципиально важно, что, какие бы наблюдения мы ни проводили и какие бы расчёты ни делали, мы (и любой другой более высокий разум) не можем точно предсказать развитие событий. В лучшем случае мы лишь вычислим вероятность протекания тех или иных процессов.

Квантовая теория оказывается справедливой и в макромире. Детерминированные процессы, например движение планет вокруг Солнца, на самом деле являются лишь приближённо детерминированными и, скорее, исключением из общего правила.

Завершая рассказ о концепции лапласовского детерминизма, заметим, что с точки зрения естественных наук «наши дороги», т. е. события, которые будут происходить с нами в будущем, совершенно не predeterminedены сегодняшним состоянием мира и во многом зависят от нас самих и от нашего выбора.

В новый портфель

Развитие естественных наук показало, что законы ньютоновской механики ограничены рамками макромира. В микромире все процессы имеют вероятностный, т. е. недетерминированный, характер. Следствием этого является недетерминированность большинства процессов, происходящих в микромире. Наблюдаемые детерминированные процессы в макромире являются скорее исключением, чем правилом.



- ▷ Что такое состояние системы с точки зрения механики?
- ▷ Можно ли «посмотреть» в прошлое и предсказать будущее, если законы классической механики считать справедливыми?
- ▷ Можно ли реально предсказать развитие мира на основе классической механики? В чём трудности такого предсказания?

56 ДВИЖЕНИЕ КАК РАСПРОСТРАНЕНИЕ. ВОЛНЫ

169

Урок-лекция

Вздыхаются волны, как горы,
И к тверди возносятся звездной,
И с ужасом падают взоры
В мгновенно разрытые бездны...

А. К. Толстой

?

Что понимают под волнами? Какие бывают волны? Где в природе наблюдаются волны? Что такое электромагнитные волны? Как проявляются на опыте электромагнитные волны различных диапазонов?

Электромагнитные волны • Волны упругости

Ключевые
слова

Механические колебания и волны. Звук. Электромагнитные волны (Физика, 7—9 кл.). Климат (География, 7—8 кл.).

Из **старого**
портфеля

ЧТО ТАКОЕ ВОЛНА. Движение волн человек наблюдал с древних времён, и многие писатели, поэты, художники обращались к образу волны. Научное понятие волны появилось значительно позднее. Что же такое волна в научном понимании? В литературных произведениях, подобных тому, отрывок из которого дан в качестве эпиграфа, под волнами понимаются гребни («горы»), следующие один за другим. Однако выделять один гребень и рассматривать лишь его было бы неправильно. В науке о природе под волной понимают всё совокупное движение в какой-либо области пространства. То, что волны движутся, очевидно из следующего опыта.

Закрепим один конец верёвки на опоре, а за другой туго натянем верёвку, держа её в руке (рис. 68, а). Сделав рукой резкое боковое движение (показанное на рисунке стрелками), мы увидим, как по верёвке «побежит» волна (рис. 68, б, в). Несложно понять, что частицы верёвки не бегут вместе с волной.

Мы можем измерить время, за которое волна дошла от места падения камня до некоторой точки на поверхности воды, и, зная это расстояние, вычислить скорость волны. Однако движение волны не просто движение частиц воды. В этом легко убедиться, бросив в волну щепку. Если бы частицы воды двигались вместе с волной, они увлекали бы за собой щепку. Однако, поколебавшись с волной, щепка остаётся на месте.

Результаты опытов показывают, что процесс движения волны не является перемещением частиц со скоростью волны. Волна — это процесс распространения колебаний частиц. В более общем случае, например в **электромагнитной волне**, колеблются не частицы, а поля. При этом нельзя сказать, что поле перемещается в пространстве. Оно просто



Кацусика Хокусай. Большая волна

Волна — это процесс распространения колебаний различной природы во времени и в пространстве.

В **новый**
портфель

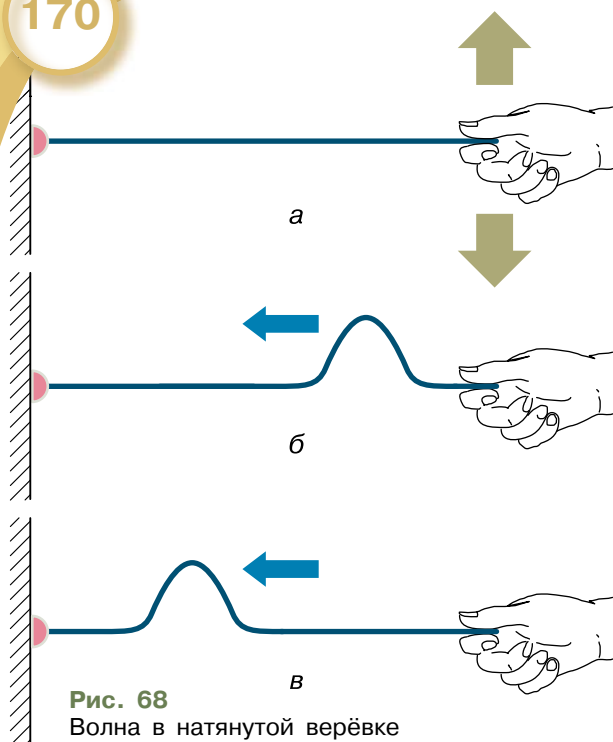


Рис. 68
Волна в натянутой верёвке

исчезает в одной точке пространства и возникает в другой. Таким образом, можно сделать вывод, что волна — это процесс распространения колебаний в различных системах.

Следует заметить, что определение волны как колебаний не совсем строгое. Например, звуковая ударная волна, образующаяся в результате взрыва (разряда молнии), — это резкий скачок давления. Как будет показано далее, такие волны могут быть представлены как сумма различных колебаний.

ПРИРОДА ВОЛН. Попробуем теперь ответить на вопросы: что же колеблется при распространении волны и где в природе встречаются волны? Проще всего ответить на второй вопрос: волны существуют везде. В различных уголках нашей огромной Вселенной можно найти места, где практически нет вещества, т. е. атомов и молекул. Однако нет места, куда не доходит свет звёзд, который представляет собой электромагнитную волну. Но, может быть, закрывшись в тёмной комнате, мы спрячемся от волн? И это невозможно. В комнату проникают радиоволны, а стены комнаты, как и мы сами, излучают электромагнитные волны, не видимые глазом.

Природа волн очень разнообразна, однако увидеть волны можно только в исключительных случаях; примером являются волны на поверхности воды и волна в натянутой верёвке (см. рис. 68). В этих случаях мы видим колебания. Колебания, происходящие в других волнах, невидимы и могут быть изучены только с помощью специальных приборов. Например, звук представляет собой распространяющиеся колебания давления воздуха. Эти колебания, доходя до барабанной перепонки уха, вызывают ощущение звука, но установить, что это именно колебания, можно, лишь используя приборы.

Звук распространяется не только в газах, но и в жидкостях и твёрдых телах; важно, чтобы такие тела обладали достаточной упругостью. Более общее название таких волн — **волны упругости**. К подобным волнам относятся также и волны в натянутых нитях, например волны в струнах музыкальных инструментов.

При распространении волн упругости происходит движение частиц, из которых состоит вещество. При распространении электромагнитных волн никакие частицы не движутся, происходит просто изменение электрических и магнитных полей в пространстве.

Электромагнитные поля обычно регистрируются приборами; некоторые из этих полей, например свет, воспринимаются органами чувств, хотя колебаний мы при этом не видим. Мы привели далеко не все примеры волн, однако и этих примеров достаточно, чтобы составить представление о разнообразии волн.

В новый портфель

Волны могут иметь разную природу.

ШКАЛА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН. Из курса физики вспомните понятие «длина волны».

Электромагнитные волны являются наиболее распространёнными в природе. Среди прочих волн электромагнитные волны замечательны тем, что диапазон, в котором изменяются частоты и соответственно

длины волн, очень велик. Различные приборы способны регистрировать электромагнитные волны с длиной волны от нескольких километров до долей пикометра ($1 \text{ пм} = 10^{-12} \text{ м}$). В таблице приведены названия волн различных диапазонов и некоторые свойства волн.

Название диапазона и длина волны	Источник волны	Влияние на организм	Применение
Радиоволны 10 км—0,1 мм	Ускоренное движение свободных (не связанных с ядрами) электронов	Слабые волны не оказывают влияния; сильные волны оказывают вредное воздействие	Связь, радиовещание и телевидение, радиолокация, нагревательные приборы (микроволновые печи)
Инфракрасное излучение 0,1 мм—750 нм (1 нм = 10^{-9} м)	Движение электронов и ядер в молекулах и кристаллах	Волны воспринимаются организмом как тепло, идущее от горячих предметов	Нагревательные приборы, приборы ночного видения, передача сигналов на расстоянии прямой видимости (пульты дистанционного управления различных приборов)
Видимый свет 750—380 нм	Движение электронов в атомах и молекулах	Волны воспринимаются глазом как свет	Различные оптические приборы
Ультрафиолетовое излучение 380—10 нм		Волны с длиной волны, близкой к длине волны видимого диапазона, при не очень сильном воздействии оказывают положительное влияние на организм (загар, образование витамина D в организме). Более короткие волны оказывают вредное воздействие на организм (провоцирование раковых заболеваний и генных мутаций)	Кварцевые лампы
Рентгеновское излучение 100 нм—1 пм	Движение электронов в атомах. Движение электронов в рентгеновских трубках	Слабые волны не воспринимаются организмом. Сильные волны или длительное воздействие слабых волн оказывают вредное воздействие (подобно волнам ультрафиолетового диапазона)	Исследование микроструктуры различных веществ, обнаружение дефектов в деталях машин и механизмов
Гамма-излучение $\leq 200 \text{ пм}$	Движение заряженных частиц в ядрах атомов		Медицина (лечение онкологических заболеваний (лучевая терапия), промышленность (гамма-дефектоскопия, проверка изделий просвечиванием гамма-лучами), ядерная физика, астрономия (изучение космических источников гамма-излучения))

Добавим к информации, которая указана в последней колонке таблицы, что волны всех диапазонов используются для определения спектров различных веществ. На основе анализа спектров получают информацию о составе веществ. Кроме того, волны всех диапазонов находят в настоящее время применение в медицине (УВЧ- и СВЧ-терапия, флюорография, лазерная хирургия глаза и др.).

ОБРАЗ ЖИЗНИ

В таблице приведены сведения о вредных последствиях, вызываемых сильными электромагнитными волнами. Однако сильные звуковые волны также оказывают на организм вредное воздействие. Поэтому при работе в повышенной шумовой обстановке необходимо использовать шумозащитные устройства (наушники). Вредное влияние на организм может оказать также длительное прослушивание громкой музыки.

Некоторые «безобидные» приборы, например лазерные указки, оптические мыши, излучают свет, который может повредить зрение при прямом попадании в глаз. Не играйте с такими приборами, направляя излучение в глаза!

??

- ▶ Чем обусловлено вредное воздействие некоторых электромагнитных волн на живые организмы?
- ▶ Могут ли оказывать вредное воздействие на организм волны другой (не электромагнитной) природы? Приведите примеры.
- ▶ Проведите опыт с волной в натянутой верёвке и попытайтесь ответить на вопросы: 1) Чему равна скорость распространения такой волны? 2) Как эта скорость изменяется при изменении натяжения верёвки и при изменении свойств верёвки (например, её толщины)?

57 СВОЙСТВА ВОЛН

Урок-лекция

Бросая в воду камешки, смотри на круги, ими образуемые, иначе такое бросание будет пустою забавою.

Козьма Прутков

?

Какими свойствами обладают волны? Какие свойства являются общими для волн и частиц?

Ключевые
слова

**Интерференция волн • Принцип суперпозиции волн •
Монохроматические волны • Период волны • Длина волны •
Частота волны • Амплитуда волны • Дифракция волн**

Из старого
портфеля

Механические колебания и волны. Звук. Электромагнитные волны. Импульс. Энергия (Физика, 7—9 кл.).

Последуем совету Козьмы Пруткова и будем наблюдать за волнами, попытаемся разобраться в их природе и свойствах.

ФОРМА ВОЛН. Два приведённых примера волн, колебания которых можно увидеть, показывают, что форма волн может сильно различаться (см. § 56). Волна от брошенного в воду камня имеет форму расширяющихся кругов. Волна в натянутой верёвке — изгиб, движущийся вдоль верёвки. О том, насколько разнообразна форма волн, можно судить по волнам на море или большом озере. Оказывается, что и форма невиди-

мых волн может тоже быть самой разнообразной. Наблюдая за волной от брошенного камня, можно сделать вывод, что форма волны изменяется по мере распространения волны, на большом расстоянии волна сглаживается и пропадает. Это свойство характерно для волн любой природы.

Волны могут иметь самую разнообразную форму, которая может изменяться по мере распространения волны.

В новый
портфель

ПРИНЦИП СУПЕРПОЗИЦИИ ВОЛН. Бросим теперь в воду два камня. Мы увидим, что в процессе распространения волны, образуемые этими камнями, проходят одна через другую, складываясь. В тех местах, где каждая из волн имеет гребень, поверхность воды поднимется на высоту, равную сумме высот каждого из гребней. То же самое можно заметить для точек, в которых обе волны имеют впадины. Если же в какой-то точке одна волна имеет гребень, а другая — впадину, то, складываясь, волны гасят друг друга. Явление взаимоусиления либо взаимогашения двух или более волн называют **интерференцией**.

Наблюдая за распространением волн от двух камней, несложно заметить, что на большом расстоянии от камней уже нельзя увидеть две волны. Что же произошло — две волны превратились в одну? Но в какой момент это произошло? Правильнее и проще считать, что в момент падения камней образовалась одна волна, равная сумме двух волн, которая изменяла форму по мере распространения, т. е. при сложении двух или более волн образуется новая волна. Это правило называют **принципом суперпозиции волн**.

Сложение нескольких волн приводит к образованию новой волны. Любую волну можно представить как сумму нескольких волн, причём это можно сделать многими способами.

В новый
портфель

МОНОХРОМАТИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ. Составление из нескольких волн одной новой напоминает детскую игрушку, в которой из деталей разнообразной формы нужно составить исходную картинку. А как подобрать универсальные элементы, чтобы из них можно было составить любую картинку? Наверное, вы знаете ответ. Любое изображение на экране телевизора или на листе бумаги формируется из множества цветных точек — элементарных «кирпичиков» изображения. Точно так же вещество состоит из таких элементарных «кирпичиков», как атомы, молекулы, ядра, электроны. Может быть, такие элементарные «кирпичики» существуют и в мире волн? Это действительно так: любую волну можно однозначно представить в виде суммы **монохроматических волн**.

На рисунке 69 приведены графики зависимости давления p в звуковой волне от координаты x , вдоль которой распространяется волна, и от времени.

«Монохроматическая» в дословном переводе означает «одноцветная». Какое отношение имеет цвет к звуковой волне? Как уже говорилось, свет представляет собой электромагнитную волну. При разложении света призмой (см. рис. 17) каждой узкой одноцветной полоске, например полоске в спектре натрия (см. рис. 18), соответствует волна, близкая к синусоидальной. В данном случае одноцветная волна имеет явный смысл. Эта терминология была перенесена на волны другой природы.

Монохроматической волной называют волну, изменяющуюся во времени и в пространстве по синусоидальному закону.

В новый
портфель

На рисунке 69 приведены также некоторые параметры, характеризующие монохроматическую волну. **Периодом волны T** называют время, за которое совершается одно полное колебание (измеряется в секундах).

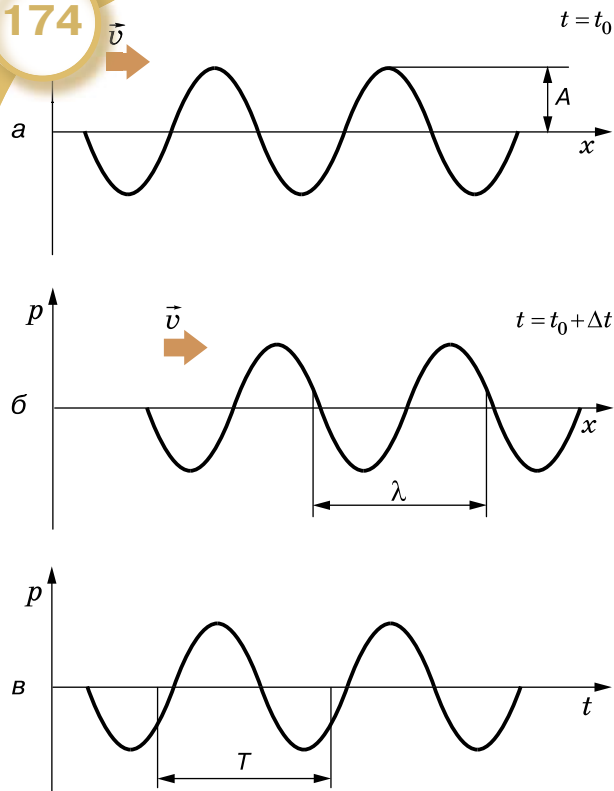


Рис. 69

Графики зависимости давления в звуковой монохроматической волне от расстояния в некоторый момент времени t_0 (а) и в некоторый последующий момент времени $t_0 + \Delta t$ (б). График зависимости давления в той же волне от времени в некоторой точке пространства x (в)

Длиной волны λ называют пространственный интервал, соответствующий одному периоду волны. Помимо этого, вводят понятие **частота волны** $\nu = 1/T$ — число колебаний волны в одну секунду (измеряется в герцах). Эти параметры связаны со скоростью распространения волны v соотношением $v = \lambda\nu$. **Амплитудой волны** (на рисунке она обозначена через A , однако для разных типов волн могут применяться различные обозначения) называется наибольшее отклонение параметра, характеризующего волну, от положения равновесия.

Разложение произвольной волны на монохроматические составляющие называют **спектральным представлением** волны. Совокупность частот (или длин) монохроматических волн, составляющих некоторую волну, и определяет спектр волны. Призма является одним из простейших приборов, осуществляющим разложение электромагнитной волны видимого излучения.

Монохроматические волны обладают рядом замечательных свойств. В частности, при распространении монохроматической волны её форма не изменяется.

Следует заметить, что, строго говоря, синусоида монохроматической волны бесконечна во времени и в пространстве. Монохроматическая волна, таким образом, является идеализацией, такой же, как, например, материальная точка. В природе не бывает монохроматических волн, однако многие волны по свойствам очень близки к монохроматическим.

В новый портфель

Монохроматические (синусоидальные) волны представляют собой элементарные «кирпичики», при сложении которых можно получить любую волну. Для этих волн определяются такие параметры, как длина волны, период волны, частота волны, амплитуда волны.

ДИФРАКЦИЯ ВОЛН. Если вы внимательно наблюдали за рябью на поверхности воды, то могли заметить, что мелкие предметы (торчащие из воды ветки, небольшие камни) не являются препятствиями для волн. Волны практически «не замечают» их. Однако за препятствиями больших размеров (например, плавающий в воде плот) волны исчезают. Вывод, который можно сделать, справедлив для волн любой природы: волны свободно огибают препятствия, размеры которых сравнимы с длиной волны или меньше длины волны. Такое явление называют **дифракцией**.

Именно дифракция не даёт возможности увидеть атомы и молекулы в микроскоп со сколь угодно большим увеличением. Размеры атомов и молекул много меньше длины волны видимого света.

В новый портфель

Дифракцией называют огибание волнами встречных препятствий. Волны любой природы свободно огибают препятствия с размерами, сравнимыми с длиной волны или меньшими длины волны.

ОБЩИЕ СВОЙСТВА ВОЛН И ЧАСТИЦ. Такой объект природы, как волны, совсем не похож на частицы, а элементарные «кирпичики», из которых состоит любая волна, бесконечны в пространстве и во времени. Тем не менее у волн и частиц есть общие свойства. Начнём с примера. Бросив камень в окно, можно разбить стекло. Но, как вы, наверное, знаете, оконные стёкла разбиваются и при взрывах, в результате которых образуется ударная звуковая волна. Следовательно, такая волна действует с некоторой силой на стекло. Какими должны быть свойства брошенного камня, чтобы он разбил стекло? У него должна быть достаточно большая масса и достаточно большая скорость. Как вы знаете, произведение этих двух величин даёт импульс тела, т. е. камень разобьёт стекло при достаточно большом импульсе. Из аналогии между камнем и ударной волной можно сделать вывод, что волна обладает импульсом и переносит импульс через пространство. Это свойство характерно для волн любой природы.

Помимо импульса, волны обладают энергией и переносят энергию через пространство. То, что электромагнитная волна, приходящая к нам от Солнца, снабжает нас энергией, необходимой для жизни, вы, конечно, знаете. Однако энергией обладают любые волны. В последнее время, например, ведутся активные работы по использованию энергии морских волн для производства электроэнергии.

Волны и частицы обладают некоторыми общими свойствами. Волна любой природы переносит энергию и импульс через пространство.

**В новый
портфель**

??

- ▷ Что общего у волн и частиц?
- ▶ Приведите примеры приборов, отличных от призмы, разлагающих волну в спектр.
- ▶ Проведите простейший эксперимент: направьте луч солнца, отражённый от компакт-диска, на белый экран. Что вы наблюдаете? Как объяснить результат наблюдения?

58 ЗВУК И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

Урок-практикум

На чешуе жестяной рыбы
прочёл я зовы новых губ.
А вы ноктюрн сыграть могли бы
на флейте водосточных труб?

В. Маяковский

?

Каким бывает звук? Какими параметрами характеризуется музыкальный звук? Как связаны характеристики звука с параметрами волны?

Механические колебания и волны. Звук (Физика, 7—9 кл.).

**Из старого
портфеля**

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Определить, какими параметрами можно охарактеризовать звук; научиться изображать различные звуки в виде графика волны.

ПЛАН РАБОТЫ

Последовательно выполняя задания, изучить основные характеристики звука.



Микеланджело да Караваджо. Лютнист

Что имел в виду поэт, написавший стихотворение, отрывок из которого приведён в качестве эпиграфа, по-видимому, знал лишь он сам. Попробуем серьёзно ответить на вопрос: можно ли прочитать звук или изобразить его? Вы, наверное, имеете представление о нотах и знаете, что звук можно изобразить в виде символов — точек и кружочков на нотном стане. Изучив предыдущий параграф, вы также понимаете, что с точки зрения естественных наук звук — это волна давления, которую можно изобразить в виде графика. Наша задача — разобраться, как можно изображать различные звуки в виде таких графиков.

1. Сформулируйте, какого типа бывает звук.

ПОДСКАЗКА

Вспомните, какие звуки вы слышите на улице, по радио. Попробуйте выделить два различных типа звука.

2. Простому музыкальному звуку соответствует монохроматическая волна. В музыке простые звуки различаются высотой. Сопоставьте высоту звука с характеристикой монохроматической волны.

ПОДСКАЗКА

Звуку «ля» первой октавы соответствует частота 440 Гц, звуку «до» первой октавы — частота 261,63 Гц.

Человеческое ухо воспринимает звук с частотой от 16 Гц до 20 кГц. Однако организм человека воспринимает и более низкий звук — инфразвук и болезненно на него реагирует. При внешних воздействиях, вызываемых механической вибрацией или звуковой волной с частотой 4—8 Гц, человек ощущает перемещение внутренних органов, а при частоте 12 Гц — приступ морской болезни. Звук с частотой более 20 кГц — ультразвук не воспринимается человеком. Однако различные животные слышат и издают ультразвук. Например, летучие мыши издают ультразвук в диапазоне 20—100 кГц и используют его для локации, т. е. для определения расстояний до объектов, размеров и свойств поверхностей объектов по отражённому звуку.

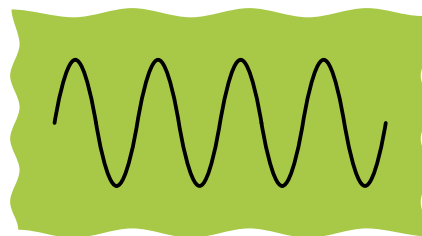
3. В музыке одна и та же нота используется для нескольких различных звуков; при этом к названию ноты добавляется название октавы. Частоты одноимённых звуков, отстоящих на октаву, различаются в два раза. Изобразите на нотном стане звуки «ля» первой и второй октав и нарисуйте графики соответствующих волн (зависимость давления звуковой волны от времени).

4. В музыке одному и тому же простому звуку может соответствовать различная громкость (от пианиссимо до фортиссимо). Ответьте на вопрос: какой характеристикой различаются две ноты «ля» первой октавы различной громкости? Изобразите графики двух этих волн.

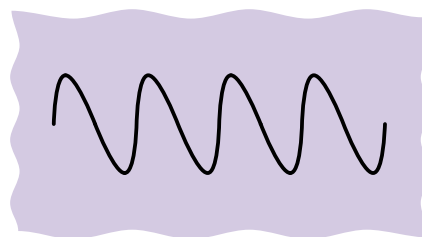
Человеческое ухо воспринимает звук таким образом, что незначительное увеличение громкости соответствует большому изменению амплитуды звуковой волны. Поэтому для измерения громкости сравнивают не амплитуды волн, а их логарифмы. Соответствующие единицы называются белами (Б). На практике чаще используют 1/10 долю бела — децибел (сокращённо дБ). В таблице приведена громкость различных звуков.

Звук	Громкость, дБ	Амплитуда волны давления, Н/м ²
Нижний предел чувствительности человеческого уха	0	0,00002
Шёпот и шорох листьев	10	0,000065
Тихий сад	20	0,0002
Скрипка (пианиссимо)	30	0,00065
Шаги, тихая музыка	40	0,002
Шум в ресторане	50	0,0065
Разговор, шум в магазине	60	0,02
Громкая речь, шум автомобиля	70	0,065
Шум мотора грузового автомобиля	80	0,2
Шумная улица, гудок автомобиля	90	0,65
Оркестр (фортиссимо), сирена	100	2
Пневматический молот	110	6,5
Реактивный двигатель, гром	120	20
Болевой порог	130	65

5. Музыкальные звуки различаются тембром. На рисунке 70, а изображена волна, соответствующая чистой ноте «ля» первой октавы (440 Гц), на рисунке 70, б — волна, получающаяся при сложении пяти нот с частотами 440 Гц, $2 \cdot 440$ Гц, $3 \cdot 440$ Гц, $4 \cdot 440$ Гц и $5 \cdot 440$ Гц. Убедитесь, что периоды волн одинаковы. Если прослушать соответствующие волны, то оказывается, что музыкальный звук имеет одну и ту же высоту, но различную окраску. Попробуйте на основе этих данных сформулировать, чем определяется тембр звука.



а



б

ОБРАЗ ЖИЗНИ

Согласно медицинским исследованиям максимально допустимый шум, длящийся в течение нескольких часов и не оказывающий вредного воздействия на человека, имеет громкость около 80 дБ. На производстве, где шум превышает эту норму, полагается использовать шумозащитные приспособления. Современные музыкальные наушники для прослушивания плеера дают максимальную громкость до 100—110 дБ. Не слушайте в течение длительного времени музыку при максимальной мощности в наушниках!

Рис. 70

Условное изображение монохроматической волны (а) и суммы монохроматических волн с кратными частотами (б)

59 ДВИЖЕНИЕ, ПРОСТРАНСТВО, ВРЕМЯ И МАТЕРИЯ

Урок-лекция

Так он постиг, что тяготенье тел
Есть внутренняя кривизна пространства,
И разум, исследивший все пути,
Наткнулся сам на собственные грани...

М. Волошин

?

Какой опыт выявил противоречия с классическими представлениями о пространстве и времени? Какая теория изменила наши взгляды на пространство, время и материю? Что означает взаимосвязь пространства и времени и как она проявляется на практике? Что означает влияние материальных тел на пространство и время и в каких опытах это влияние проявляется?

Ключевые
слова

Теория относительности • Четырёхмерное пространство-время

Из старого
портфеля

Относительность движения. Скорость. Ускорение. Системы отсчёта (Физика, 7—9 кл.).

КЛАССИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОСТРАНСТВА, ВРЕМЕНИ И МАТЕРИИ. Вспомним основные свойства пространства и времени:

1. Мы живём в трёхмерном пространстве. Это означает, что положение любой точки в некоторой выбранной системе отсчёта можно задать тремя числами — координатами. Координаты точки зависят от выбора системы отсчёта, но расстояния между двумя любыми точками одинаковы во всех системах отсчёта.

2. Пространство и время не связаны между собой. Это означает, что измерение времени не зависит от движения часов в пространстве, а измерение расстояния не зависит от того, в какой интервал времени оно выполняется.

3. Измерение расстояния и времени не зависит от свойств тел, находящихся в области пространства, где производится измерение. Пространство и время не зависят от материи.

Точность научных опытов, подтверждающих свойства пространства и времени, была очень высока, поэтому до XX в. эти опытные факты, казавшиеся очевидными, не подвергались сомнению. В начале XX в. появилась теория, разработанная Альбертом Эйнштейном, в которой пространство, время и материя оказались взаимосвязанными. Новая теория была столь необычной, что с ней связывают революцию в естествознании, которая произошла на рубеже XIX—XX вв. Прочитав этот параграф, вы, конечно же, не сможете понять теорию относительности, однако понять, как она изменила взгляды учёных на пространство, время и материю, вполне возможно.

В КАКОЙ СИСТЕМЕ ОТСЧЁТА ИЗМЕРЯТЬ СКОРОСТЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН. Зависит ли скорость волны от выбора системы отсчёта? Опыт по исследованию различных волн давал утвердительный ответ. Так, например, скорость звука, равная 330 м/с, относительно неподвижного воздуха изменялась в соответствии с законом сложения скоростей при движении приёмника звука относительно воздуха.

В результате развития теории электромагнетизма английским учёным Джеймсом Клерком Максвеллом было предсказано существование электромагнитных волн и вычислена скорость их распространения. Эта скорость (около 300 000 км/с) оказалась близка к скорости света, вследствие чего был сделан вывод о том, что свет является электромагнитной волной.

До некоторого времени оставался открытым вопрос, относительно чего теория предсказывает данную скорость электромагнитных волн. Дело в том, что все доступные для человека системы отсчёта движутся со скоростями, много меньшими скорости света. Поэтому изменение скорости света при переходе из одной системы отсчёта в другую ожидалось настолько малым, что экспериментальной точности было недостаточно для того, чтобы обнаружить это изменение. Даже Земля движется вокруг Солнца со скоростью, равной $1/10000$ скорости света.

По аналогии со звуком, который распространяется со скоростью 330 м/с относительно воздуха, было сделано предположение о том, что свет распространяется со скоростью 300 000 км/с относительно некоей всепроникающей субстанции, которую называли *эфиром*. Мы и сейчас пользуемся этим словом, когда говорим, например, «в прямом эфире», «в эфире радиостанция...».

Гипотеза эфира, как и любая естественно-научная гипотеза, нуждалась в проверке опытом. С помощью очень сложной установки, использующей интерференцию света, учёные Майкельсон и Морли пытались обнаружить движение Земли сквозь эфир по изменению скорости света относительно Земли. Однако эксперимент дал ошеломляющий отрицательный результат: несмотря на достаточную точность приборов, движение Земли относительно эфира не было зафиксировано, поскольку скорость света относительно Земли в любое время суток и года оказывалась равной постоянной величине. Этот факт полностью противоречил классическим взглядам на свойства пространства и времени.

Именно постоянство скорости света в любой системе отсчёта было взято Эйнштейном за основу его теории.

Опыт свидетельствует, что скорость света постоянна во всех системах отсчёта. Этот факт противоречит классическим представлениям о пространстве и времени.

**В новый
портфель**

НОВЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРОСТРАНСТВЕ И ВРЕМЕНИ. В созданной Эйнштейном **теории относительности** пространство и время оказываются взаимосвязанными. Эта связь проявляется в том, что измерения промежутков времени и расстояний в пространстве оказываются зависящими от того, в какой системе отсчёта производят измерения. При переходе из одной системы отсчёта в другую временные (время между двумя событиями) и пространственные интервалы изменяются. Причём если, например, временной интервал между событиями удлиняется, то пространственный сокращается.

Образно говоря, время и пространство могут переходить друг в друга. В связи с этим вводится представление о **четырёхмерном пространстве-времени**.

Удлинение временных интервалов и сокращение расстояний оказываются пропорциональны коэффициенту $\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$, где v — скорость системы отсчёта; c — скорость света. В любых доступных человеку системах отсчёта этот коэффициент оказывается очень близким к единице. Именно поэтому опыт, накопленный в период развития физики до XX в. (в том числе и ваш опыт), не позволял выявить данные свойства пространства и времени.

Естественно, такие необычные свойства пространства и времени требовали опытного подтверждения. В настоящее время существует огромное число опытов по проверке теории относительности и не существует опытов, противоречащих ей.

В новый портфель

Новые представления о пространстве и времени, возникшие в результате создания теории относительности, связывают пространство и время. Следствием такой связи оказывается зависимость расстояний и времени от выбора системы отсчёта, в которой производятся измерения.

МАТЕРИЯ ФОРМИРУЕТ ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ. В наше время бурного развития космонавтики вряд ли кто-нибудь не слышал о состоянии невесомости, испытываемом космонавтами, и о перегрузках при старте ракеты. Состояние невесомости эквивалентно отсутствию силы тяжести, как будто бы все тяготеющие массы (Земля, Солнце) находятся очень далеко. Однако космические корабли движутся близко от Земли, и сила тяжести в космическом корабле примерно такая же, как и на поверхности Земли. Перегрузки эквивалентны таким перегрузкам, которые испытывал бы человек, находясь на планете с огромным тяготением, чего в действительности нет.

Проанализировав подобные факты (во времена Эйнштейна космонавтов ещё не было), Эйнштейн взял за основу постулат, что никакими опытами, проведёнными внутри некоторой системы отсчёта, нельзя определить, чем вызвана сила тяжести (отсутствие силы тяжести) — гравитацией или движением системы отсчёта с ускорением. Этот постулат был назван *принципом эквивалентности* и лёг в основу так называемой *общей теории относительности*.

Следствием этой теории являлось утверждение о том, что материальные тела влияют на пространство, в котором они расположены, и на время в области пространства, где они расположены. Пространство искривляется вблизи материальных тел, а время замедляет свой ход. Эти следствия также были проверены опытом.

В частности, искривление пространства обуславливает искривление лучей света, проходящих вблизи тяготеющего тела (рис. 71). Подобное искривление траектории было обнаружено при астрономических наблюдениях прохождения луча света от звезды вблизи Солнца во время затмения Солнца в 1919 г.

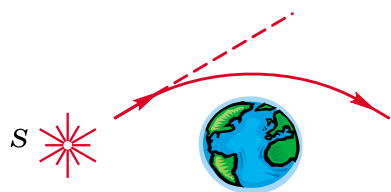


Рис. 71
Искривление луча света вблизи тяготеющего тела

В новый портфель

Материя, пространство и время взаимосвязаны. Материальные объекты искривляют пространство, в котором они находятся, и замедляют ход времени вблизи них.

??

- ▷ Противоречит ли теория относительности научным положениям, развитым до появления этой новой теории?
- ▷ В чём проявляется взаимосвязь пространства, времени и материи?

Если окажется, что ваша теория противоречит опыту, — ну, что ж, вы можете всегда сказать, что экспериментаторы ошибаются. Но если окажется, что ваша теория противоречит второму началу термодинамики, дело плохо.

А. Эддингтон



Какие процессы могут протекать в изолированной системе самопроизвольно? Зависит ли изменение внутренней энергии системы от пути (способа) её перехода из одного состояния в другое? Достаточно ли только закона сохранения энергии для описания возможных самопроизвольных процессов в изолированных системах?

Количество теплоты • Адиабатный процесс • Работа •
Внутренняя энергия • Термодинамика • Энтропия

Ключевые
слова

Молекулярно-кинетическая теория. Термодинамика (Физика, 7—9 кл.).

Из старого
портфеля

ПЕРВЫЙ ЗАКОН (ПЕРВОЕ НАЧАЛО) ТЕРМОДИНАМИКИ. Представим, что мы изучаем систему материальных тел (это может быть совокупность каких-либо предметов: тетрадь, ручка, сумка, или молекулы газа, или раствор — словом, всё что угодно). Эта система тел отделена от окружающего мира некоторой оболочкой, воображаемой или действительной (скажем, вещи в рюкзаке, газ или раствор в стеклянном сосуде и т. д.). Примером может служить система «идеальный газ в цилиндре с поршнем» (рис. 72).

Допустим, что на газ оказали внешнее воздействие: кто-то сдвинул поршень влево или вправо. Ясно, что количество газа при этом не изменилось, а вот его объём и давление стали другими. Можно сказать так: система откликнулась на внешнее воздействие.

Форма отклика может быть разной в зависимости от характера воздействия. Первая форма — это *теплоперенос (теплопередача)*. В этом случае система теряет или приобретает некоторое **количество теплоты** (ΔQ) вследствие того что её, например, нагрели или охладили. Теплоперенос невозможен, если система изолирована в тепловом отношении (тогда она не может обмениваться теплотой с внешним миром и $\Delta Q = 0$). Процессы, которые происходят в такой системе, называют **адиабатными**.

Возможна и другая форма отклика системы на внешнее воздействие — это так называемые рабочие действия, или **работа**. Система может совершать различные действия: механические (например, газ, расширяясь, двигает поршень, поднимает груз, вращает колесо и т. д.), электрические (между батареей и внешней средой идёт электрический ток) или какие-либо иные.

Рассмотрим конкретный случай. Пусть система совершает работу над внешними телами: газ, расширяясь, двигает поршень. Допустим, что при этом система получает тепло из внешней среды (мы нагреваем цилиндр с

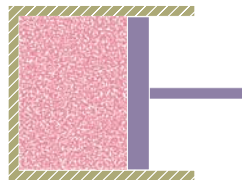


Рис. 72
Идеальный газ в цилиндре с поршнем



Движение поезда

газом), т. е. $Q > 0$. В результате этих процессов (теплоперенос плюс работа) **внутренняя энергия** системы изменяется на величину ΔU . (Вспомните, что такое внутренняя энергия U тела.) В нашем примере (газ получает количество теплоты ΔQ извне и совершает работу A над поршнем) внутренняя энергия системы (т. е. газа) уменьшается при совершении ею работы над внешними телами (поршнем) и увеличивается в результате притока тепла извне, т. е. в соответствии с законом сохранения энергии можно записать:

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

В отличие от закона сохранения энергии в механике в этом уравнении фигурирует величина ΔQ . Изучение движения и превращения внутренней энергии составляет предмет **термодинамики**, а приведённое выше уравнение представляет собой математическое выражение так называемого *первого закона (первого начала) термодинамики*.

Величина ΔU (в отличие от величин ΔQ и A) обладает одним важным свойством: если система переходит из одного (начального) состояния в другое (конечное), то изменение её внутренней энергии ΔU не зависит от пути, по которому совершался этот переход, т. е. величина ΔU не зависит от того, с помощью каких именно процессов система перешла из начального состояния в конечное. Значение величины ΔU определяется только начальным и конечным состояниями. Величины, которые, подобно величине U , обладают таким свойством, называют *функциями состояния системы*.

ЭНТРОПИЯ И ВТОРОЙ ЗАКОН (ВТОРОЕ НАЧАЛО) ТЕРМОДИНАМИКИ. Однако для термодинамического описания разнообразных процессов одного первого закона термодинамики недостаточно. Действительно, есть целый ряд процессов, которые не противоречат первому закону, но тем не менее самопроизвольно (сами по себе, без затраты работы) не происходят. Например, тепло всегда переходит от более горячего тела к более холодному, но никогда не наоборот. Следовательно, есть ещё один термодинамический закон, который разрешает одни самопроизвольные процессы, не противоречащие первому закону, и запрещает другие. Этот закон называют *вторым законом (вторым началом) термодинамики*. Он имеет несколько формулировок.

Пусть два соприкасающихся тела A и B полностью изолированы от внешней среды. Но между самими телами идёт передача тепла от тела A к телу B , поскольку температура тела A больше температуры тела B (ситуация уют — брюки). Введём для каждого тела величину $\Delta S = \Delta Q/T$, где T — температура тела, а ΔQ — тепло, полученное телом. Если тело не получает, а отдаёт тепло, будем величину ΔS определять так же, но полагать, что $\Delta Q < 0$. Посмотрим, как будет изменяться суммарная величина $\Delta S = \Delta S_A + \Delta S_B$ в процессе теплопередачи. Поскольку $Q_A + Q_B = 0$ (тепло передаётся от одного тела к другому без потерь), получим

$$\Delta S = \Delta Q_A/T_A + \Delta Q_B/T_B = \Delta Q_B(1/T_B - 1/T_A).$$

Поскольку тело B получает тепло, то $\Delta Q_B > 0$, а так как $T_B < T_A$, то $1/T_B - 1/T_A > 0$. Следовательно, $\Delta S > 0$.

Таким образом, для рассмотренного самопроизвольного процесса в изолированной системе величина ΔS положительна и $\Delta Q/T > 0$.

Если же процесс равновесный и обратимый (т. е. $T_A = T_B$) и тело A отдаёт телу B некое количество теплоты, а затем такое же количество теплоты получает назад, имеет место равенство $\Delta S = 0$.

В термодинамике вводится функция состояния S , изменение которой определяется величиной ΔS . Эту функцию состояния S , которая не убывает в любых процессах, происходящих в изолированных системах, немецкий физик Рудольф Клаузиус назвал **энтропией**. Второй закон термодинамики в формулировке Клаузиуса гласит: в изолированной системе самопроизвольно могут протекать только процессы, которые ведут к увеличению энтропии.

Более общее определение энтропии, а следовательно, и второго закона термодинамики было предложено австрийским физиком Людвигом Больцманом. Согласно Больцману, энтропия — это мера хаотичности, неупорядоченности системы. Сравним, к примеру, три объекта: лёд, жидкую воду и водяной пар. В кристаллах льда молекулы расположены упорядоченно. В жидкости порядка меньше — там есть так называемый ближний порядок (т. е. сохраняется более или менее правильное окружение каждой частицы), но дальний порядок нарушен. Молекулы же газа движутся хаотически.

Тогда второй закон (второе начало) термодинамики можно сформулировать так: в изолированной системе самопроизвольно могут протекать только такие процессы, которые ведут к увеличению неупорядоченности системы, т. е. к увеличению энтропии.

С проявлением закона возрастания энтропии мы сталкиваемся довольно часто: когда наблюдаем процессы растворения, диффузии газов и жидкостей, испарения жидкостей, когда при нагревании твёрдое или жидкое тело разлагается с выделением газа (приведите примеры), когда мы разбиваем яйцо или что-то ломаем и т. д. Именно в силу закона возрастания энтропии известное выражение «ломать — не строить» обретает физический смысл.

Существует и третий закон (третье начало) термодинамики, согласно которому при приближении температуры к абсолютному нулю энтропия системы стремится к нулю.

В термодинамике вводится функция состояния, которая называется энтропией (S). Изменение энтропии определяется величиной $\Delta S = \Delta Q/T$. В случае обратимого (равновесного) процесса, протекающего в изолированной (представленной самой себе) системе, $\Delta S = 0$, тогда как для необратимого (неравновесного) процесса в такой системе $\Delta S > 0$.

В новый
портфель

ОБРАЗ ЖИЗНИ

Как вы знаете из курса физики, скорость движения тепла, или, точнее, количество тепла, протекающего в единицу времени, определяется теплопроводностью, которая существенно различна у разных веществ. Именно поэтому прикосновение к металлическим предметам на морозе или, наоборот, в сауне воспринимается болезненно.

??

- ▷ Каким образом может изменяться внутренняя энергия газа?
- ▷ Изменения каких величин зависят и изменения каких величин не зависят от способа перехода системы (например, газа) из одного состояния в другое?
- ▶ Установите соответствие между законами термодинамики и процессами, протекающими в природе и обществе.

Законы:

1 — первый закон термодинамики;

2 — второй закон термодинамики.

Процессы:

А. С одного трофического уровня экологической пирамиды переходит на другой её уровень в среднем не более 10% энергии.

Б. Превращение энергии Солнца в энергию пищи происходит путём фотосинтеза.

В. Любой процесс природопользования даёт отходы.

Впишите в таблицу цифры, соответствующие выбранным ответам.

А	Б	В

61 ДВИЖЕНИЕ КАК КАЧЕСТВЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ. ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ

Урок-лекция

...Движенья все непрерывную цепь образуют
И возникают одно из другого в известном порядке.
Лукреций

?

Что такое механизм химической реакции? Что такое кинетическое уравнение реакции и в чём его смысл? Каков механизм действия катализатора? Что такое ингибиторы?

Ключевые
слова

Механизм химической реакции • Кинетическое уравнение • Катализаторы • Ингибиторы

Из старого
портфеля

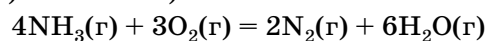
Химическая реакция. Классификация химических реакций по различным признакам. Понятие о скорости химических реакций (Химия, 8—9 кл.).

ХИМИЧЕСКАЯ РЕАКЦИЯ КАК ПРИМЕР ДВИЖЕНИЯ. Вспомните, что такое *скорость химической реакции* и от каких факторов она зависит.

Химические реакции идут с различными скоростями. Диапазон их скоростей чрезвычайно широк — от практически мгновенных реакций (взрыв, многие реакции в растворах) до крайне медленных, идущих столетиями (например, окисление бронзы на воздухе).

В XIX в. было установлено, что химические реакции в подавляющем большинстве представляют собой многостадийные процессы, т. е. совершаются не путём непосредственного одновременного столкновения частиц реагентов с образованием продуктов, а через ряд простых (элементарных) процессов.

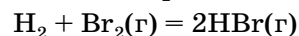
Действительно, если бы, к примеру, реакция окисления аммиака (в записи реакции обозначение (г) — это газ)



шла в одну стадию, то это потребовало бы огромных затрат энергии на одновременный разрыв связей в молекулах аммиака и кислорода. Кроме того, вероятность столкновения трёх частиц очень мала, четырёх — практически равна нулю. Одновременное же столкновение семи частиц (четырёх молекул аммиака и трёх молекул кислорода) просто невозможно.

Каждая элементарная стадия химической реакции — это либо химический процесс (скажем, распад одной молекулы или столкновение двух частиц), либо переход частицы в так называемое возбуждённое состояние (или, наоборот, переход её из возбуждённого состояния в основное).

Даже простая на первый взгляд реакция



идёт по стадиям, причём каждая стадия протекает со своей скоростью.



Питер Брейгель Старший. Алхимик

1-я стадия (быстрая):



На этой стадии образуются атомы брома (неспаренные электроны обозначены точками).

2-я стадия (относительно медленная):



Совокупность элементарных стадий химической реакции, следующих одна за другой (т. е. последовательно) или совершающихся параллельно, называют **механизмом** химической реакции. Механизмы реакций различны.

Для химика очень важно знать, от каких факторов зависит скорость химической реакции. Особенно важна зависимость скорости реакции (или её стадий) от концентраций реагирующих веществ. Такую зависимость называют **кинетическим уравнением**.

Для гипотетической реакции $aA + bB = dD + eE$ математическое выражение скорости (кинетическое уравнение) имеет вид

$$v = k \cdot c^a(A) \cdot c^b(B),$$

где v — скорость химической реакции; c — концентрация вещества, моль/л; a , b — показатели степени (эти величины определяют экспериментально). Коэффициент пропорциональности k в кинетическом уравнении называют **константой скорости** химической реакции. Она численно равна скорости химической реакции при концентрациях реагирующих веществ, равных 1 моль/л.

Скорость элементарных стадий реакции пропорциональна произведению концентраций частиц-реагентов, например:

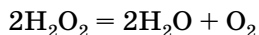


Скорость же суммарной реакции может различным, иногда весьма сложным образом зависеть от концентраций реагентов.

Таким образом, превращение одних веществ в другие — это не одномоментное событие, а процесс, развёртывающийся во времени, т. е. имеющий свою временную структуру, которая выражена механизмом реакции. Вместе с тем механизм реакции учитывает не только изменения в составе веществ — участников реакции, но и изменения положений атомов в пространстве в ходе реакции. Поэтому можно говорить о пространственно-временной структуре реакции.

Начало развития химической кинетики — области химии, изучающей скорости и механизмы химических реакций, пришлось на вторую половину XIX в. Фундамент этой дисциплины был заложен в 1880-е гг. голландским химиком, одним из основателей современной физической химии Якобом Вант-Гоффом и шведским физико-химиком Сванте Аррениусом.

КАТАЛИЗ. Уже давно было замечено, что некоторые вещества способны значительно увеличивать скорость химической реакции, не изменяя при этом своего химического состава. Такие вещества называют **катализаторами**. Например, пероксид водорода при комнатной температуре разлагается медленно:



В присутствии же платины скорость его разложения возрастает более чем в 2000 раз, а фермент каталаза (содержится в крови) увеличивает скорость реакции в 90 млрд раз!

Катализатор не расходуется в химическом процессе. Он включается в промежуточные стадии процесса и регенерирует в самом конце. Поэтому в уравнение реакции его не включают.

Мир катализаторов широк и многообразен, как и способы их действия. Но в целом можно сказать, что катализатор, включаясь в механизм реакции, изменяет его и направляет процесс по энергетически более выгодному пути. При этом, что особенно важно, катализаторы могут вызывать протекание с заметной скоростью таких процессов, которые без них практически не идут.

Каждый катализатор может ускорять лишь определённые типы реакций, а в ряде случаев только отдельные реакции. Такую особенность катализаторов называют *селективностью* (избирательностью). Селективность действия катализаторов позволяет получать лишь определённый нужный продукт определённым образом. Наибольшей селективностью и эффективностью отличаются биологические катализаторы — *ферменты*, которые катализируют биохимические реакции, протекающие в живых организмах.

Есть вещества, которые замедляют или вообще прекращают химические процессы. Их называют **ингибиторами**. Однако в отличие от катализаторов ингибиторы расходуются в ходе реакции.

В новый портфель

Движение — это не только механическое перемещение. Под движением понимают также любое изменение в окружающем нас мире, например любую химическую реакцию, т. е. процесс превращения одних веществ в другие.

??

- ▷ От каких факторов зависит скорость химических реакций?
- ▷ Может ли скорость какой-нибудь реакции быть пропорциональна квадрату концентрации какого-либо вещества? Если да, то приведите примеры.
- ▷ Предложите гипотезу, с помощью которой можно объяснить, почему в отличие от катализаторов ингибиторы расходуются в ходе реакции.
- ▷ При описании свойств катализатора в тексте встречается термин «селективность». Что общего у него с другими терминами — «селекция», «селектив», «селектор»? Из каких языков в русскую лексику пришли данные термины? Что обозначает каждый из них? В каких областях знаний они употребляются?
- ▷ Объясните с точки зрения физики и химии тот факт, что в старину на Руси, в странах Южной Европы и Ближнего Востока для сохранения свежести молока в него сажали лягушку.
- ▷ Приведите примеры влияния различных условий на скорость реакции разложения пероксида водорода.

Условия	Примеры
Природа реагирующих веществ	
Концентрации реагирующих веществ	
Температура	
Присутствие катализаторов и ингибиторов	

- ▷ Как классифицируют химические реакции по направлению протекания процесса? Приведите примеры обратимых реакций.
- ▷ Что понимают под химическим равновесием? Перечислите факторы, которые оказывают влияние на смещение химического равновесия.
- ▷ Вспомните, как формулируется принцип Ле Шателье. На примере синтеза аммиака проиллюстрируйте его действие.

Урок-практикум

Без открытия точных законов протекания реакций нельзя ждать дальнейших успехов в теории нашей науки.

Д. И. Менделеев



Является ли скорость химической реакции некой постоянной величиной, или же она зависит от природы реагирующих веществ? Зависит ли скорость химической реакции от концентраций реагирующих веществ? Определяют ли скорость химической реакции какие-либо другие факторы (к примеру, температура)? Может ли добавление в реакционную смесь какого-либо вещества, не расходующегося в процессе реакции, повлиять на её скорость?

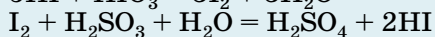
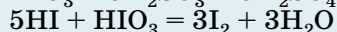
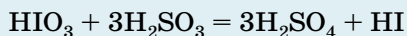
Факторы, влияющие на скорость химической реакции. Катализ (Химия, 8—9 кл.).

Из старого портфеля

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Установить факторы, от которых зависит скорость химических реакций.

ПЛАН РАБОТЫ. Провести опыты, указанные в заданиях, и сформулировать выводы по результатам данных опытов. Если проведение ряда опытов в виде лабораторного или демонстрационного эксперимента окажется невозможным из-за отсутствия необходимых реактивов, можно воспользоваться мультимедийной демонстрацией.

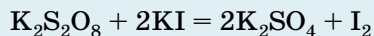
1. Поставьте опыт по изучению взаимодействия сернистой и иодноватой кислот (реакция Ландольта) и выясните, зависит ли скорость химической реакции от природы реагирующих веществ. Для этого проведите следующие реакции:



Реактивы и оборудование. Растворы: HIO_3 (5 г HIO_3 на 500 мл воды); H_2SO_3 (12 мл насыщенного раствора H_2SO_3 на 500 мл воды); свежеприготовленный раствор крахмала. Стакан объёмом 500—600 мл; два стакана объёмом 200—250 мл; две пипетки по 25 мл; мерный цилиндр объёмом 100 мл; метроном.

Выполнение опыта. На лист белой бумаги поставить большой стакан. В один из двух меньших стаканов налить 100 мл воды, точно отмерив объём с помощью мерного цилиндра. В другой стакан налить 90 мл воды и 10 мл раствора крахмала. После этого, тщательно отмерив пипеткой 25 мл раствора HIO_3 , вылить его в первый стакан. С помощью другой пипетки набрать 25 мл раствора H_2SO_3 и вылить его во второй стакан. Включить метроном. Затем быстро вылить содержимое этих стаканов в большой стакан и начать отсчёт ударов метронома. Через 10—15 ударов раствор становится синим. Вы убедились, что иод, наличие которого устанавливается по синему окрашиванию добавленного к смеси крахмала, появляется в растворе не сразу, а только после окисления всей сернистой кислоты. Какой вывод отсюда следует? Как вы думаете, какая из приведённых выше реакций идёт быстрее других?

2. Чтобы выяснить, зависит ли скорость химической реакции от концентраций реагирующих веществ, проведите опыт по исследованию взаимодействия соли надсерной кислоты с иодидом калия:

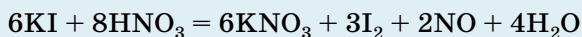


Реактивы и оборудование. Раствор А: 16,6 г иодида калия и 0,02—0,03 г $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ растворить в 500 мл воды и добавить затем несколько миллилитров свежеприготовленного раствора крахмала. Раствор Б: 0,025 М раствор соли надсерной кислоты. Три стакана объёмом 400—500 мл; два мерных цилиндра объёмом 150 мл; метроном.

Выполнение опыта. На лист белой бумаги поместить три стакана. В отдельные цилиндры отмерить 150 мл раствора А и 150 мл раствора Б. Включить метроном. Вылить содержимое цилиндров в первый стакан. Отсчитать число ударов метронома до появления синей окраски.

В отдельные цилиндры отмерить 150 мл раствора А и смесь, состоящую из 100 мл раствора Б и 50 мл воды. Вылить содержимое цилиндров во второй стакан. Включить метроном и отсчитать число ударов до появления синей окраски. В третий стакан вылить 150 мл раствора А и смесь, состоящую из 50 мл раствора Б и 100 мл воды. Так же как и в предыдущем случае, включить метроном и отсчитать число ударов до появления синей окраски раствора. Сделайте выводы по результатам эксперимента.

3. Теперь выясним, влияет ли и каким образом температура на скорость химических реакций. Для ответа на этот вопрос проведите опыт по исследованию окисления иодида калия азотной кислотой:



Реактивы и оборудование. Растворы: KI (8—9 г соли на 100 мл воды); HNO_3 (1 : 2). Два стакана объёмом 400—500 мл; два мерных цилиндра объёмом 100 мл; белый экран.

Выполнение опыта. В стаканы налить одинаковые количества (примерно по 100 мл) азотной кислоты. Один раствор оставить при комнатной температуре, другой нагреть до 80—90 °С. Затем поставить стаканы рядом на фоне белого экрана и в каждый стакан добавить 40 мл раствора KI. В одном стакане раствор приобретает жёлтую окраску. В другом стакане идёт бурная реакция, он заполняется фиолетовыми парами. Сделайте вывод по результатам эксперимента о скорости протекания реакции.

4. Вам осталось ответить на последний проблемный вопрос, для этого обратимся к реакции каталитического окисления аммиака на поверхности оксида хрома.

Реактивы и оборудование. Раствор NH_3 (концентрированный); Cr_2O_3 (в виде порошка). Большая колба объёмом около 3 л; мерный цилиндр объёмом 50 мл; металлическая ложечка.

Внимание! Опыт проводить под тягой.

Выполнение опыта. В колбу влить 10—15 мл концентрированного раствора аммиака. Этим раствором тщательно омыть стенки колбы и затем вылить раствор. Оксид хрома положить на металлическую ложечку и сильно прокалить, а затем небольшими порциями сбрасывать в колбу. Каждая порция оксида даёт красивый сноп искр. Сделайте выводы по результатам эксперимента.

Дополнительные источники информации

1. Леенсон И. А. Как и почему происходят химические реакции. Элементы химической термодинамики и кинетики / И. А. Леенсон. — Долгопрудный: Издательский Дом Интеллект, 2010.
2. Ерёмин В. В. Теоретическая и математическая химия для школьников / В. В. Ерёмин. — М.: МЦНМО, 2007.

Слова для поискового запроса: скорость химической реакции, катализаторы, химическое равновесие, реакция Ландольта, каталитическое окисление аммиака.

63 ДВИЖЕНИЕ В ЖИВОЙ ПРИРОДЕ

Урок-лекция

Монада, точка малая средь вод,
Без ног, без членов плавает, снуёт,
Там вибрион, как угорь, вьётся,
Живым мерцает колесом Сувойка,
А там играет формами Протей,
То шар, то куб, то будто червь иль змей...
Э. Дарвин



Какой механизм лежит в основе движения живых организмов? Как действуют биологические моторы? Как работают мышцы? Каков механизм движения отдельных клеток и одноклеточных организмов?

Белки — молекулярные моторы • Миозин • Актин • Миофибриллы

Ключевые
слова

Белки и их свойства. Строение клетки. Энергия клетки. Разнообразие живых организмов. Деление клетки — митоз. Микроскопия (Биология, 7—9 кл.). Двигатель внутреннего сгорания. КПД тепловой машины (Физика, 7—9 кл.). Ионы. Биологически важные вещества: жиры, углеводы, белки (Химия, 7—9 кл.).

Из старого
портфеля

МНОГООБРАЗИЕ ФОРМ ДВИЖЕНИЯ ЖИВОГО. Движение — одно из фундаментальных свойств живого. В повседневной жизни мы сталкиваемся в основном с движением, которое осуществляется благодаря работе мышц: это и бег коня, и полёт бабочки, и ползание дождевого червя, и плавание карася. В основе этих внешне столь различных форм движения лежит активность мышечных волокон. Но не только сокращение мышц обеспечивает движение. Одноклеточные организмы, например амёбы, жгутиконосцы, инфузории, тоже обладают способностью к перемещению в пространстве. Перемещения разного рода осуществляются и внутри самих клеток: движение вакуолей, транспортных пузырьков, содержащих выработанный клеткой секрет, расхождение хромосом делящейся клетки. Есть ли что-либо общее между всеми этими столь различными на первый взгляд процессами?

ПРИЧИНЫ ДВИЖЕНИЯ ЖИВОГО. Из приведённых выше примеров следует, что движение живых организмов является механическим движением, а причиной любого механического движения являются силы. В частности, причиной движения планет является гравитационная сила Солнца. Причиной движения двигателей, построенных человеком,

являются либо электромагнитные силы (электродвигатели), либо сила давления горячего газа на поршень (тепловые двигатели). Что же является причиной движения живых организмов?

Как вам уже известно, субстратом жизни служат полимерные молекулы белков и нуклеиновых кислот. Все процессы в живом организме происходят вследствие химических реакций между этими и другими молекулами, составляющими живой организм или поступающими в него. Каким же образом химические превращения способны вызывать механическое движение?

Среди различных белков, составляющих организм, важную роль играют молекулы, получившие название **белки — молекулярные моторы**. Характерным свойством таких молекул является способность изменять свою форму. Примером такого белка является молекула **миозина**, которая при наблюдении в электронный микроскоп видна как короткая толстая нить с утолщением-головкой на одном из концов. Эта головка способна поворачиваться относительно нити (рис. 73).

Если головку миозина прикрепить к какой-либо другой молекуле, то при повороте она способна совершать механическую работу. Откуда берётся энергия для такой работы? Энергию поставляет молекула АТФ — универсальный источник энергии клеток всех живых организмов.

Однако при движении головки относительно изменения длины молекулы миозина оказывается незначительным. Мышцы, созданные из таких молекул, могли бы сокращаться на единицы процентов (реальное сокращение мышц может достигать 50 %). И природа «исхитрилась» ещё за миллиарды лет до изобретения человеком тепловых двигателей изобрести мотор, работающий по циклу, подобно тепловым двигателям, созданным человеком.

Биологический двигатель состоит из двух молекул — **миозина**, осуществляющего движение, и **актина**, молекулы которого, соединяясь между собой, образуют длинные тонкие нити. Рабочий цикл **актин-миозинового мотора** схематично изображён на рисунке 74. Следует отметить, что КПД такого двигателя (отношение совершённой механической работы к затраченной энергии) в несколько раз превышает КПД тепловых двигателей, созданных человеком. Человек ещё не достиг совершенства, имеющегося в природе; возможно, двигатели, подобные биологическим, будут изобретены в будущем.



Раскадровка движения балерины

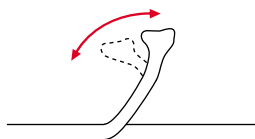


Рис. 73
Движение головки миозина

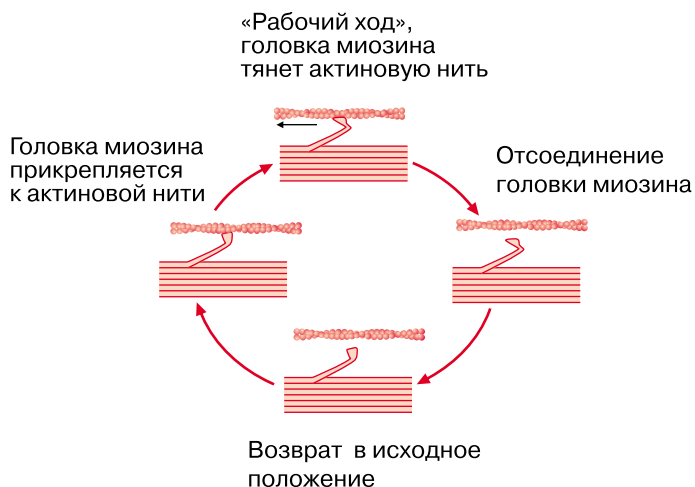
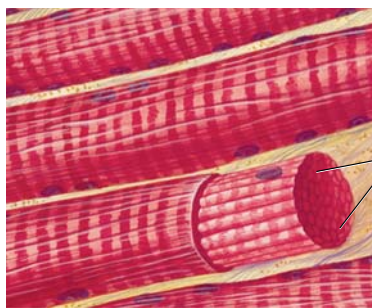


Рис. 74
Схема рабочего цикла актин-миозинового мотора

Что же регулирует циклическую работу биологического двигателя? Под воздействием нервного импульса в цитоплазме увеличивается концентрация ионов Ca^{2+} . Эти ионы способствуют контакту актина с миозиновой головкой и соединению миозина с одной из составляющих молекулы АТФ (в определённом смысле действие ионов кальция подобно действию катализаторов при химической реакции). После того как миозиновая головка совершает очередное тянущее движение, концентрация ионов кальция уменьшается.



Пучки
сократительных
белков
(миофибриллы)

Рис. 75
Схема строения мышцы

Биологические моторы основаны на взаимодействии двух типов молекул: молекулы, изменяющей форму, и перемещаемой молекулы. Эти молекулярные комплексы работают циклично и обуславливают практически все движения, которые наблюдаются в живой природе.

**В новый
портфель**

МЫШЕЧНОЕ СОКРАЩЕНИЕ. Рассмотрим работу мышцы. Схема мышцы приведена на рисунке 75. Мышечные волокна, имеющие диаметр порядка 50 мкм, состоят из отдельных цилиндрических структур — **миофибрилл**, которые имеют диаметр 1—2 мкм.

Если сделать поперечный срез миофибриллы и взглянуть на него через электронный микроскоп, то можно увидеть правильно чередующиеся тонкие нити белка актина и толстые, связанные в пучок своими хвостовыми концами молекулы миозина. При зацеплении головки миозина за актиновую нить образуются поперечные мостики. Схема работы отдельной сократимой единицы миофибриллы приведена на рисунке 76.

Когда мышца находится в расслабленном состоянии, миозиновые и актиновые нити перекрываются незначительно. После нескольких циклов актин-миозиновых моторов актиновые нити оказываются втянутыми в промежутки между миозиновыми нитями, что приводит к сокращению мышцы.

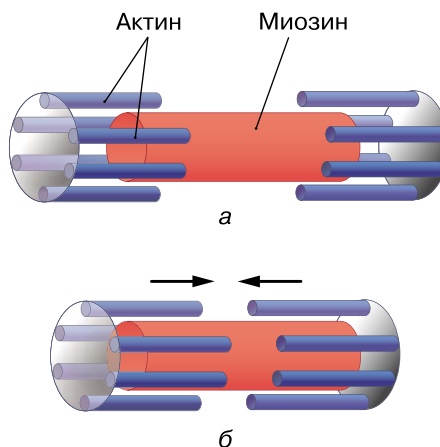


Рис. 76
Схема работы миофибриллы: а — расслабленное состояние; б — сокращенное состояние

Основу работы мышцы составляет работа множества элементарных актин-миозиновых биологических моторов.

**В новый
портфель**

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР БИОЛОГИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ. Описанные биологические моторы обуславливают различные движения живых организмов. Примерами таких движений являются изменение формы клетки и образование перетяжки между дочерними клетками в ходе клеточного деления, движение жгутиков и ресничек простейших живых организмов (жгутиконосцы, инфузории), амебоидное движение — один из самых распространённых способов перемещения клеток.

Исследование амебоидного движения показало, что в прилежащем к наружной плазматической мембране амёб слое цитоплазмы имеется сеточка из нитей актина и миозина. Сокращение и расслабление

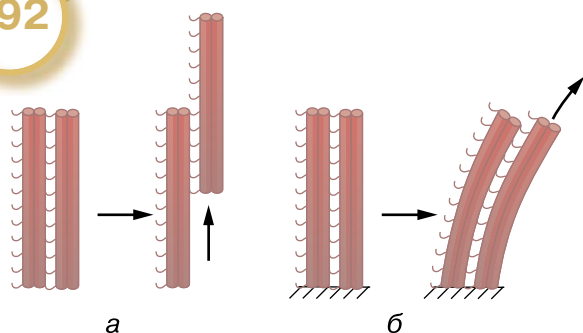


Рис. 77

Схема механизма изгибания жгутиков и ресничек: а — движение микротрубочек с незакреплёнными концами; б — изгиб микротрубочек, когда их нижние концы скреплены друг с другом

Амебоидный способ движения характерен для лейкоцитов — элементов крови человека и позвоночных животных, участвующих в иммунном ответе организма. Перемещаясь, как амёбы, эти клетки скапливаются вокруг проникших в организм инородных объектов и нейтрализуют их вредное воздействие на организм.

этой сеточки фактически изменяет упругость наружной оболочки, в результате чего цитоплазма перетекает в область, где упругость меньше. В этой области образуется вырост — *псевдоподия*, которая закрепляется на окружающих амёбу телах. Затем вещество амёбы постепенно перекачивается в область, где закрепились псевдоподия, после чего цикл повторяется.

Движение при помощи жгутиков и ресничек чрезвычайно распространено среди одноклеточных организмов. Изгибаясь, жгутики и реснички совершают сложное движение. Движение жгутика напоминает движение гребного винта. Движение реснички напоминает движение рук человека, плывущего брасом: вначале следует прямой удар ресничкой, затем она изгибается и медленно возвращается в исходное положение.

Жгутики и реснички не содержат мышц. Под микроскопом видно, что жгутики и реснички состоят из микротрубочек, образованных молекулами белков. К каждой микротрубочке прикреплены ручки, образованные белком — молекулярным мотором.

Цикл движения состоит в том, что ручки микротрубочки цепляются за соседнюю микротрубочку, затем, изгибаясь, подтягивают соседнюю микротрубочку, после чего, отцепляясь, возвращаются в исходное положение (рис. 77). Таким образом, функцию актина в актин-миозиновом комплексе в данном случае выполняют микротрубочки. Если микротрубочки одним концом скреплены между собой, то при циклическом движении ручек происходит изгиб микротрубочек.

В новый портфель

Несмотря на огромное разнообразие форм движения живых существ, все они оказываются достаточно сходными и основанными на одних и тех же молекулярных механизмах.

ОБРАЗ ЖИЗНИ

При прохождении электрического тока через живой организм нарушается электролитный баланс. В связи с этим возможны судорожные сокращения мышц, нарушение деятельности органов вплоть до полного прекращения их функционирования, чем и обусловлено поражающее действие электрического тока. Будьте внимательны при работе с электрическими бытовыми приборами и электроустановками. Соблюдайте инструкции и правила безопасности.

??

- ▷ Как осуществляется механическое движение в живой природе?
- ▷ Можно ли найти что-то общее в беге леопарда и ползании амёбы? Если да, то что?
- ▷ За счёт какого вида энергии совершается механическая работа при действии биологического мотора?

64 ДВИЖЕНИЕ КАК КАЧЕСТВЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

193

Урок-лекция

От чувственных реальностей осталась
Сомнительная вечность вещества.

М. Волошин



Могут ли одни химические элементы превращаться в другие? Каковы особенности процесса радиоактивного распада? Как происходят ядерные реакции?

Радиоактивность • Период полураспада • Ядерные реакции • Цепная реакция деления

Ключевые
слова

Строение атома. Квантовые явления (Физика, 7—9 кл.; Химия, 8—9 кл.).

Из старого
портфеля

РАДИОАКТИВНОСТЬ И ЕЁ ВИДЫ. Химические реакции не единственный пример качественных изменений в природе. Другим важным классом подобных изменений являются процессы радиоактивного распада и ядерные реакции.

В начале 1896 г. французский учёный Антуан Анри Беккерель экспериментировал с солями урана. Он завернул фотопластинку в плотную чёрную бумагу, положил сверху крупинки урановой соли и выставил на яркий солнечный свет. После проявления пластинка почернела в тех участках, где лежала урановая соль. Значит, уран самопроизвольно испускал лучи, подобные тем, что несколькими месяцами раньше открыл немецкий физик Вильгельм Конрад Рентген. «Эти лучи, — заявил Беккерель, — проходят через чёрную бумагу и засвечивают фотопластинку». Беккерель связал это излучение с *фосфоресценцией* — излучением света после облучения образца солнечным светом.

Спустя два дня Беккерель решил повторить опыты. Но к сожалению, погода стояла пасмурная, а без солнечного света кристаллы урановой соли не фосфоресцировали. Пришлось положить фотопластинки и кристаллы соли, обернутые в плотную чёрную бумагу, в ящик стола. Через два дня ветер разогнал облака и можно было приступить к работе. Однако Беккерель решил (на всякий случай) проявить фотопластинки, пролежавшие два дня в ящике. К своему удивлению, он обнаружил на проявленной пластинке довольно чёткие силуэты образцов соли. Но ведь урановая соль находилась два дня в темноте и не фосфоресцировала! Следовательно, она сама по себе испускает какие-то таинственные лучи, которые проходят через плотную чёрную бумагу и засвечивают фотопластинку.

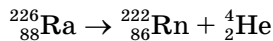
Позже Беккерель установил, что чистый уран также испускает (и даже ещё сильнее) эти лучи. Спустя два года явление, открытое Беккерелем, было названо **радиоактивностью**.

Оказалось, что радиоактивным является не только уран, но и торий. Были также открыты новые радиоактивные элементы — полоний (1898), радий (1898), актиний (1899) и радон (1899).

В первые два десятилетия после открытия Беккереля наибольший вклад в изучение радиоактивности внесли супруги Пьер и Мария Кюри (Франция) и Эрнест Резерфорд, английский физик, в 1898—1907 гг. работавший в Канаде.

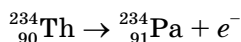
Опыты Резерфорда (1899) и М. Кюри (1903) показали, что существует три вида самопроизвольных ядерных превращений (потом их число увеличилось, но те, что были открыты на рубеже XIX—XX вв., наиболее распространены):

— α -распад, когда ядро испускает α -частицу, состоящую из двух протонов и двух нейтронов (такая частица представляет собой ядро *изотопа* гелия ${}^4_2\text{He}$, т. е. его массовое число равно 4, а заряд равен +2), например:



(вспомните, из каких частиц состоят атомные ядра, что такое массовое число атома и что такое изотопы);

— β -распад, когда в неустойчивом ядре один из нейтронов превращается в протон, при этом ядро испускает электрон (β -частицу) и лёгкую частицу, называемую *антинейтрино* (${}_0^1n \rightarrow {}_1^1p + e^- + \bar{\nu}$), например:



(далее вместо обозначения e^- мы будем использовать греческую букву β);

— γ -распад, когда возбуждённое ядро испускает излучение с очень малой длиной волны.

При всех этих распадах энергия ядра уменьшается.

Итак, при α -распаде массовое число уменьшается на четыре единицы, а заряд ядра (порядковый номер) элемента — на две. При β -распаде атомный номер элемента увеличивается на единицу, а массовое число не изменяется. При γ -излучении, которым часто (но не всегда) сопровождаются α - и β -распады, ни атомный номер, ни массовое число не изменяются.

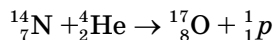
Каждый радиоактивный изотоп характеризуется **периодом полураспада** $T_{1/2}$, т. е. временем, за которое самопроизвольно распадается половина атомов исходного вещества. Величина $T_{1/2}$ характеризует скорость радиоактивного распада и принимает различные значения для разных радиоактивных изотопов. Например, для изотопа ${}^{238}_{92}\text{U}$ период полураспада составляет $4,5 \cdot 10^9$ лет, для изотопа ${}^{210}_{82}\text{Pb}$ — $1,5 \cdot 10^{-4}$ с. Причём скорость распада не зависит от внешних условий.

Все ядра равны перед законом радиоактивного распада:

$$N = N_0 2^{-t/T_{1/2}},$$

где N — число нераспавшихся атомов к моменту времени t ; N_0 — число атомов в начальный момент времени. Ядро данного радиоактивного изотопа, родившееся только что, и ядро этого же изотопа, просуществовавшее миллионы лет, имеют одинаковую вероятность распасться. Иными словами, радиоактивным распадом управляет случай.

ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ. Итак, мы выяснили, что некоторые ядра могут самопроизвольно превращаться в ядра других химических элементов. В 1910 г. Резерфорд впервые осуществил искусственное превращение элементов бомбардировкой α -частицами атомов азота:

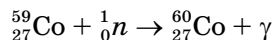
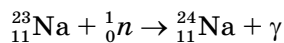


Символ ${}_1^1p$ обозначает протон, т. е. ядро атома водорода (${}_1^1\text{H}$). Заметим, что в принятой записи ядерных реакций (как естественных, так и искусственных) сумма массовых чисел (т. е. сумма верхних индексов) реагирующих частиц всегда равна сумме массовых чисел продуктов реакции. То же относится и к зарядам ядер (к нижним индексам). (Подумайте, почему это так.)

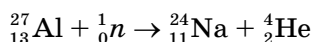
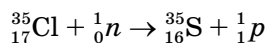
Обстреливая α -частицами разные ядра, удалось осуществить много **ядерных реакций**. Ещё более разнообразные ядерные реакции удалось исследовать с помощью ускорителей, где заряженные частицы (к при-

меру, протоны, нейтроны, ядра различных элементов) разгоняются до больших скоростей и затем направляются на мишень. Среди всех ядерных реакций, пожалуй, самое важное место занимают реакции, вызываемые захватом нейтронов. Потоки нейтронов получают в результате ядерных реакций в ускорителях и в ядерных реакторах.

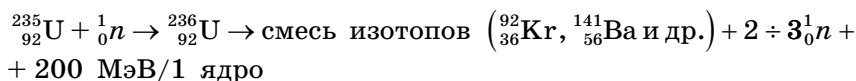
Приведём несколько примеров ядерных реакций, вызываемых нейтронами:



Подобные реакции широко применяются для получения новых изотопов, хотя отделить, скажем, изотоп ${}^{25}\text{Na}$ от изотопа ${}^{24}\text{Na}$ нелегко. (Подумайте почему.)



Большой научный и практический интерес представляют реакции, вызываемые бомбардировкой нейтронами ядер ${}_{92}^{235}\text{U}$ (рис. 78). В результате таких реакций образуется смесь изотопов с массовыми числами, равными приблизительно половине массового числа делящегося урана:



Ядерный реактор оказался настоящей фабрикой радиоактивных изотопов. Ядра изотопа ${}_{92}^{235}\text{U}$ могут захватывать нейтроны с небольшой энергией (5–10 эВ¹ — так называемые тепловые нейтроны), а нейтроны, образующиеся при делении ядра ${}_{92}^{236}\text{U}$, обладают в миллионы раз большей энергией. Поэтому, чтобы реакция шла дальше за счёт вылетающих при делении ядра нейтронов, последние надо замедлить. Тогда пойдёт цепная реакция деления урана — выделившиеся нейтроны после замедления будут захватываться другими ядрами ${}_{92}^{235}\text{U}$ и т. д. В 1940 г. советские физики Яков Борисович Зельдович и Юлий Борисович Харитон создали теорию **цепной реакции деления**.

В природном уране цепная реакция возникнуть не может, так как такой уран в основном состоит из двух изотопов: ${}_{92}^{238}\text{U}$ (99,3 %) и ${}_{92}^{235}\text{U}$ (0,7 %), причём первый из них захватывает нейтроны в основном без последующего деления.

Осуществить цепную реакцию сумели как в виде взрыва (в атомной бомбе), так и в виде регулируемого процесса (в ядерном реакторе).

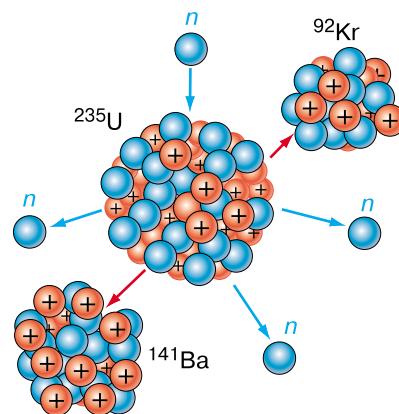


Рис. 78

Деление ядра урана при поглощении нейтрона

??

- ▷ Чем ядерные реакции отличаются от химических?
- ▷ Почему нельзя просто разогнать нейтрон в ускорителе и направить его на мишень, как это делают с протонами, электронами, атомными ядрами? Почему нейтроны удобно использовать в качестве бомбардирующих частиц?
- ▷ Что такое цепная реакция деления?

¹ 500—1000 кДж/моль.

65 ФОРМЫ И ВИДЫ ДВИЖЕНИЯ

Урок-конференция

Вся жизнь — это великая цепь, природу которой можно познать из отдельного её звена.

А. Конан Дойл

?

Как взаимосвязаны различные формы и виды движения? Какова связь различных видов движения и энергии? Какие виды движения приводят к образованию новых структур?

ЦЕЛЬ КОНФЕРЕНЦИИ. Анализируя примеры движения в различных системах, изучить особенности и общие свойства различных видов движения.

ПЛАН КОНФЕРЕНЦИИ

1. Движение в грозовой туче.
2. Движение в клетке: потоки энергии и информации.
3. Движение нервного импульса.
4. Волны на поверхности воды.

Изучая материал данной главы, вы познакомились с различными видами движения. В таких сложных системах, как живые организмы, виды движения оказываются взаимосвязанными. Подобная взаимосвязь прослеживается практически в любом природном явлении. Изучив отдельные виды движения, можно попытаться рассматривать сложные процессы, происходящие в различных системах.

СООБЩЕНИЕ 1

Движение в грозовой туче.

При подготовке сообщения продумайте ответы на следующие вопросы:

1. Как происходит движение газа при возникновении тучи?
2. Как происходит движение заряженных частиц в ясную погоду, при формировании тучи, при грозовом разряде?
3. Как изменяется электрическое поле при различных процессах в грозовой туче?
4. Как взаимосвязаны все эти виды движения?

Источники информации

1. Тарасов Л. В. Физика в природе / Л. В. Тарасов. — М.: Просвещение, 1988.
2. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. В 9 т. / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс; под ред. Я. А. Смородинского. — М.: URSS, 2011. — Т. 1—4.

Слова для поискового запроса: атмосферное электричество, природа гроз, электрические явления в атмосфере.

СООБЩЕНИЕ 2

Движение в клетке: потоки энергии и информации.

При подготовке сообщения продумайте ответы на следующие вопросы:

1. Какие процессы приводят к передаче энергии молекулам АТФ?
2. При каких процессах молекулы АТФ отдают энергию?

3. Куда «течёт» энергия в клетке?
4. Что такое поток информации и в каком направлении в клетке он происходит?
5. С какими химическими реакциями связан поток информации?

Источники информации

1. Алексеев В. И. Прикладная молекулярная биология / В. И. Алексеев, В. А. Каминский. — М.: URSS, 2005.
2. Петросова Р. А. Биология: обмен веществ и энергии в клетках организма / Р. А. Петросова. — М.: Дрофа, 2004.

Слова для поискового запроса: метаболизм клетки, пластический и энергетический обмен, АТФ, митохондрии, хлорофилл.

СООБЩЕНИЕ 3

Движение нервного импульса.

Источники информации

1. Могилевский Б. М. Природа глазами физика / Б. М. Могилевский. — М.: URSS, 2013.
2. Недоспасов В. О. Физиология высшей нервной деятельности и сенсорных систем / В. О. Недоспасов. — М.: МПСИ, 2006.
3. Чувин Б. Т. Нервная система и органы чувств человека / Б. Т. Чувин. — М.: Дрофа, 2006.

Слова для поискового запроса: нейрон, нервный импульс, нервная система.

СООБЩЕНИЕ 4

Волны на поверхности воды.

При подготовке сообщения продумайте ответы на следующие вопросы:

1. В результате каких процессов возникают волны?
2. Как и в результате чего происходит качественное изменение волн?
3. Какие виды движения частиц воды происходят при различных волнах?
4. Какими параметрами определяется длина волны на поверхности воды?
5. Какими параметрами определяется скорость волн на поверхности воды?

Источники информации

1. Бутиков Е. И. Физика для поступающих в вузы / Е. И. Бутиков, А. А. Быков, А. С. Кондратьев. — СПб.: Лань, 2001.
2. Тарасов Л. В. Физика в природе / Л. В. Тарасов. — М.: Просвещение, 1988.

Слова для поискового запроса: волны на воде, свойства волн, дисперсия волн.

Движение в сложных системах представляет собой совокупность различных взаимосвязанных форм движения. Всем видам движения присущи некоторые общие качества, в частности перенос энергии, импульса, информации. При движении в сложных системах может происходить образование нового качества и новых структур.

**В новый
портфель**

66 ТАЙНЫ ДВИЖЕНИЯ ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ ИСКУССТВА

Урок-практикум

Есть многое в природе, друг Горацио,
Что и не снилось нашим мудрецам.

У. Шекспир

?

Может ли изобразительное искусство, которое статично по своей природе, расширить наши представления о движении, помочь узнать о различных его видах, показать движение реальное, видимое и движение невидимое?

Из старого портфеля

Формы и виды движения (см. § 54—56, 58, 63, 65).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Показать роль и значение искусства как способа познания окружающего мира для расширения естественно-научных представлений о различных видах движения.

ПЛАН РАБОТЫ. Последовательно выполняя задания, рассмотреть репродукции произведений, высказать и обсудить собственные впечатления, аргументировать версии и гипотезы о специфике новых видов движения. Сделать вывод, помогло ли вам изобразительное искусство обогатить, изменить, расширить традиционные представления о существующих видах движения.

1. В произведениях изобразительного искусства много разнообразных примеров движения-перемещения. Вспомните многочисленные сюжеты, когда художники делали именно такое движение «героем» картины: мчащиеся лошади, стремительно накатывающиеся волны, бегущие люди и т. п. Но иногда авторы как бы зашифровывают движение, предлагают зрителю загадки. Рассмотрите репродукции живописных произведений А. Матисса, Д. Балла, Н. Гончаровой и ответьте на вопросы:
1. Как вам кажется, что происходит на каждой картине? Что именно помогает понять замысел автора в каждом случае?



Анри Матисс. Красные рыбы

Джакомо Балла. Движущийся автомобиль + скорость + шум

Наталья Гончарова. Велосипедист





Анри Матисс. Музыка



Рауль Дюфи. Большой оркестр

2. Как вы считаете, есть ли в картинах что-то общее? А в чём различия между ними? Предложите свои названия произведениям. Обоснуйте выбор, сравните его с выбором одноклассников.

Оформление результатов

Придумайте и запишите в тетрадь название того вида движения, которое вы обсуждали, рассматривая картины.

2. Изобразительное искусство даёт представление и о таких видах движения, которые незаметны для глаза. Встречались ли вам живописные полотна, героем которых был звук? Может ли статичная живопись передать динамичный звук?

1. Рассмотрите репродукции картин А. Матисса и Р. Дюфи. Сравните изображения: есть ли что-то общее? В чём, с вашей точки зрения, разница? Обоснуйте своё мнение.

2. Попробуйте услышать и описать словами (напеть) музыку, которую исполняют герои произведений. Как вы считаете, каким способом художники помогают зрителю увидеть и услышать музыку?

3. Изобразительное искусство может показать и дать услышать зрителю не только музыку, но и другие звуки. Рассмотрите репродукцию картины Э. Мунка и вслушайтесь в неё. А теперь попробуйте описать словами то, что вы услышали. Какие средства использовал художник для изображения звука?



Эдвард Мунк. Крик

Оформление результатов

Придумайте и запишите в тетрадь название вида движения, которое вы слышали, рассматривая картины.

3. В этом задании вам предстоит познакомиться с ещё одним видом движения, но для этого необходимо рассмотреть иллюстрацию и обсудить возникшие версии.

1. Как вы считаете, что происходит на полотне В. Серова? Попробуйте кратко пересказать сюжет.

2. Кто «герои» картины? Что из увиденного на картине подсказало вам ответ?

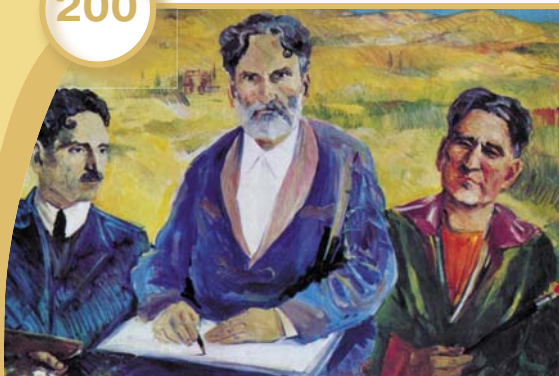
3. А теперь попробуйте сделать вывод: о чём же это произведение? Что хотел сказать зрителю автор?



Валентин Серов.
Девочка с персиками

Оформление результатов

Придумайте и запишите в тетрадь название вида движения, которое показал в своём произведении В. Серов.



Мартирос Сарьян.
Три возраста. Автопортрет

4. Искусство — уникальный способ познания мира, дополняющий методы современной науки в постижении законов природы. Так, живопись открывает возможности для того, чтобы узнать о самых необычных видах движения.

1. Рассмотрите автопортрет М. Сарьяна. Заметили ли вы некоторую странность в изображении? Какую?

2. Как вы думаете, почему художник воспользовался таким приёмом? Что он хотел сказать зрителю?

3. Прокомментируйте, почему авторы учебника поместили эту иллюстрацию в разделе о движении.

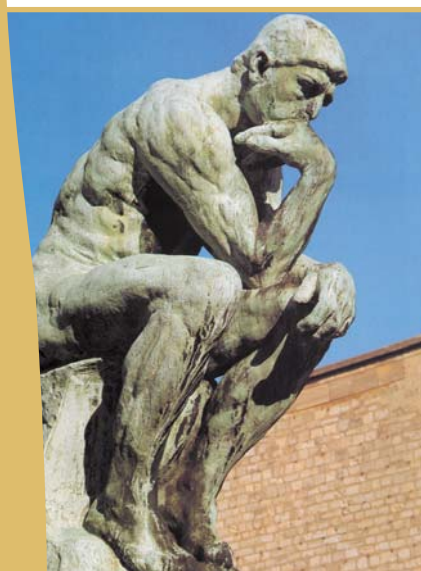
4. Вспомните произведения изобразительного искусства, которые вы видели в музеях, альбомах по искусству, на CD или в Интернете. Как ещё художник может показать этот же вид движения?

ПОДСКАЗКА

Вспомните, что такое автопортрет.

Оформление результатов

Придумайте и запишите в тетрадь название вида движения, которое помогла увидеть живопись М. Сарьяна.

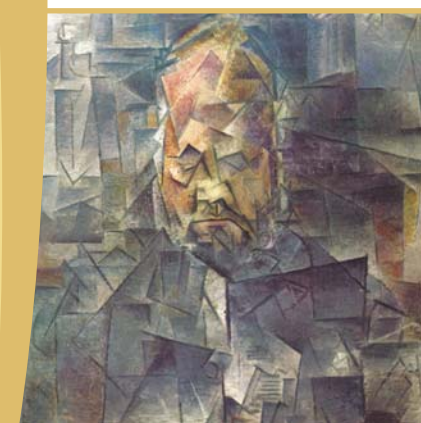


Огюст Роден. Мыслитель

5. Ещё один необычный вид движения помогут увидеть два произведения выдающихся художников — живописца П. Пикассо и скульптора О. Родена. Эти произведения необходимо внимательно рассмотреть и сравнить.

1. Попробуйте понять замысел авторов и кратко сформулируйте ответ на вопрос: о чём эти произведения? Предположите, почему их поместили рядом.

2. Как вы считаете, какой вид движения запечатлел художник в своём произведении?



Пабло Пикассо.
Портрет Амбруаза Воллара

ПОДСКАЗКА

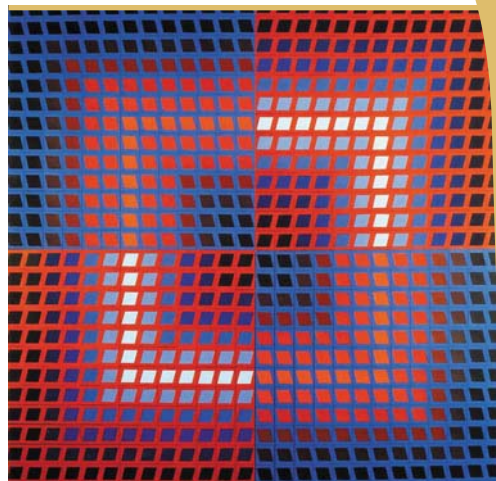
Пикассо был хорошо знаком с Амбруазом Волларом, знаменитым парижским торговцем картинами, и неоднократно писал его портрет. Воллар привлекал художника незаурядностью личности, редким умом и проницательностью, особым чутьём на настоящее искусство. Портрет написан в кубистической манере: изображение строится из геометрических форм, размещённых в строгом порядке. По замыслу автора у зрителя должно было рождаться ощущение присутствия при таинственном и сложном процессе рождения мысли.

Роден говорил, что хотел создать образ человека, олицетворяющего новую эпоху — XX в.: рука рабочего и лицо мыслителя. «Мой «Мыслитель» думает не только мозгом, насупленными бровями, расширяющимися ноздрями и сжатыми губами, но каждым мускулом своих рук, спины и ног, сжатыми кулаками и подобранными пальцами ног».

Оформление результатов

Придумайте и запишите в тетрадь название вида движения, которое помогли вам увидеть произведения искусства.

6. Кроме невидимого движения, искусство помогает нам узнать о движении, которого вообще нет или которое не существует без зрителя.
1. Рассмотрите репродукцию картины В. Вазарели, поместив учебник на стол. Что вы видите? Что происходит на картине?
 2. А теперь рассмотрите иллюстрацию, держа её на расстоянии вытянутой руки на уровне глаз. Происходит ли теперь что-то с изображением?
 3. Проведите простой опыт: установите книгу вертикально и несколько раз медленно пройдите мимо изображения. Заметили ли вы ещё какие-либо изменения?
 4. Как вы думаете, меняется ли изображение в зависимости от положения картины по отношению к зрителю?
 5. Выскажите несколько предположений о том, какую цель преследовал автор, вовлекая зрителя в «игру с пространством». Обоснуйте ваши предположения.



Виктор Вазарели. Квазар-С

Оформление результатов

Придумайте и запишите в тетрадь название вида движения, с которым вы познакомились, рассматривая картину Вазарели.

Рассматривая произведения, созданные творцами искусства разных стран в разное время, вы ещё раз убедились в многообразии движения, но, безусловно, смогли поговорить не обо всех его видах, существующих в природе, точно так же как мы не исчерпали всех возможностей искусства, чтобы расширить наши представления о нём. Например, кино даёт возможность поговорить о движении, которое также нельзя увидеть без специальных приборов. Возможно, что вы обратитесь к произведениям искусства, в которых услышите и почувствуете движение, в том числе такое, о котором не упоминается в учебнике.

ОБОБЩЕНИЕ И ОСМЫСЛЕНИЕ МАТЕРИАЛА ГЛАВЫ

Горизонты смещаются вместе с движущимся.
Х. Гадамер



Различные формы движения — отражение процессов взаимодействия компонентов природы и основа её целостности.

Жизнедеятельность организма человека и его взаимодействие с окружающей средой есть результат сложных процессов, протекающих на основе общих законов движения.

Нерегулируемое антропогенное влияние без учёта законов движения приводит к разрушению природных систем.

ВЕЧНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ. Согласно первому и второму началам термодинамики невозможно создание вечного двигателя (по-латыни *perpetuum mobile*). Но всегда находятся люди, которые неустанно пытаются изобрести машину всех машин, машину, действующую вопреки известным законам физики. Этим людям называют изобретателями вечного двигателя.

На рисунках 79 и 80 представлены два проекта вечного двигателя. Внимательно рассмотрите изображённые механизмы, попробуйте проанализировать принцип их работы. (Подробнее об этих механизмах вы можете прочитать на сайте: <http://gotourl.ru/14506> (Вечный двигатель).)

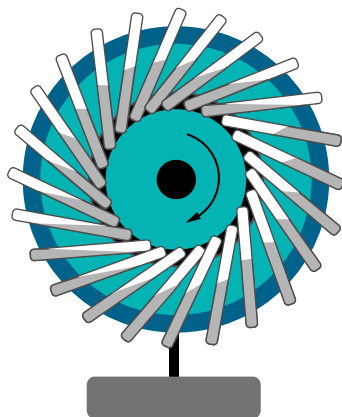


Рис. 79

Проект двигателя с небольшими косо закреплёнными сосудами, частично заполненными ртутью

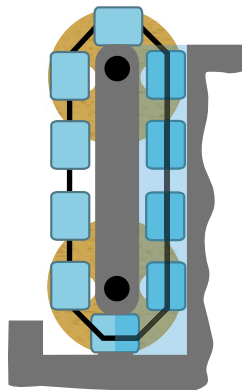


Рис. 80

Проект водяного двигателя с полыми баками на цепи

ПОДУМАЙТЕ И ОТВЕТЬТЕ

1. На чём основан принцип действия каждого из двигателей?
2. Из-за чего эти проекты так и не были воплощены в жизнь? В чём заключались ошибки авторов этих двигателей?
3. Как вы думаете, почему в качестве основного конструктивного элемента первых вечных двигателей использовалось колесо?
4. Какие открытия и разработки могли бы стать основой для конструирования современных вечных двигателей?

5 ГЛАВА

ЭВОЛЮЦИОННАЯ КАРТИНА МИРА

67 МЕЖДУ ПОРЯДКОМ И ХАОСОМ

Урок-лекция

Две опасности не перестанут угрожать миру: порядок и беспорядок.

П. Валери

?

Какие процессы в макром мире являются необратимыми? Что характерно для подобных процессов? Что называют самоорганизацией? Как проявляется самоорганизация в природе?

Ключевые
слова

Самоорганизация • Синергетика

Из **старого**
портфеля

Механические колебания и волны. Звук (Физика, 8—9 кл.). Учение об эволюции органического мира (Биология, 9 кл.).

ЗАКОНЫ МИКРОМИРА И СТРЕЛА ВРЕМЕНИ. В главе 2 вы познакомились с основными структурами материи, из которых состоит наш мир. Все эти структуры в конечном счёте можно представить как совокупность некоторых элементарных «кирпичиков» материи: частиц

вещества и частиц — переносчиков взаимодействий. Законы движения на атомно-молекулярном уровне (уровне микромира) в настоящее время достаточно хорошо изучены. Важным свойством этих законов является обратимость во времени. Это означает, что любой процесс в микромире обратим, т. е. может протекать как в прямом, так и в обратном направлении.

Казалось бы, из этого факта должна следовать обратимость всех видов движения во Вселенной, но на уровне макром мира такой обратимости нет. В нашем мире время однонаправлено, и мы не можем вернуться в прошлое. Образно говоря, существует *стрела времени*. Объяснить причину необратимости многих процессов, происходящих в природе, позволяет хаотичность движения микрочастиц.

Тепло всегда переходит от горячего тела к холодному, но не в обратном направлении. Если мы толкнём какое-либо тело, оно придёт в движение, которое прекратится через некоторое время. Обратного процесса, когда



Карл Брюллов. Последний день Помпеи

Поняв разрушимость сотворённого, ты
узришь вечно неизменное.

Буддийская мудрость

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

покоящееся тело самопроизвольно начинает двигаться, в природе не наблюдается. Созревшее яблоко может упасть с дерева, но невозможно даже представить обратного процесса, когда яблоко самопроизвольно подскочит с земли.

Для всех перечисленных процессов характерно то, что конечное состояние является более вероятным, более хаотическим. Вам уже известно, что мерой хаотичности является величина, называемая энтропией. Во всех перечисленных процессах энтропия возрастает.

Закон возрастания энтропии (второй закон термодинамики) устанавливает временную необратимость реальных процессов в макром мире.

В новый
портфель

Казалось бы, согласно закону возрастания энтропии наш мир постоянно стремится к хаосу, т. е. к всё более неупорядоченному состоянию. В соответствии с этим законом все структуры нашего мира должны постепенно разрушаться. В своё время Рудольфом Клаузиусом была сформулирована гипотеза о тепловой смерти Вселенной, которая произойдёт после перехода к полностью хаотическому состоянию. Однако наряду с процессами движения к беспорядку и разрушению мы постоянно наблюдаем обратные процессы — процессы перехода от хаоса к порядку, процессы, казалось бы противоречащие закону возрастания энтропии.

СИНЕРГЕТИКА — НАУКА О САМООРГАНИЗАЦИИ. Наиболее наглядными из процессов перехода от хаоса к порядку и обратно являются процессы, происходящие в живой природе. Подожжённое молнией дерево достаточно быстро сгорает. При этом на смену сложной структуре живого организма приходят гораздо менее структурированные вещества: углекислый газ, пары воды и зола (совокупность солей). Однако в природе существует и противоположный (но не обратный во времени) процесс. Например, во время роста дерева используются вещества с относительно простой структурой (углекислый газ, вода и соли), которые образуют сложные структуры (белки, нуклеиновые кислоты и т. п.). Процесс роста дерева происходит гораздо медленнее по сравнению с процессом его горения. В живой природе подобные (противоположные) процессы происходят постоянно.

Процессы роста так же необратимы, как, например, процесс расширения газа. Но природа необратимости уже не может быть объяснена переходом от порядка к хаосу. Именно поэтому на определённом этапе развития естественных наук сложилось представление, что биологические процессы не подчиняются физическим законам, более того, вообще не могут быть объяснены на основе естественно-научных законов. Однако развитие естествознания в XX в. показало, что процессы возникновения и эволюции жизни всё-таки могут быть объяснены на основе естественно-научных законов.

Процессы, при которых происходит переход от неупорядоченного (бесструктурного) состояния к упорядоченному (структурированному) состоянию, т. е. от хаоса к порядку, были названы процессами **самоорганизации**. В начале 70-х гг. XX в. возникло новое направление научных исследований — **синергетика** (от греч. *synergetikos* — совместный, согласованно действующий). Это произошло после того, как учёные выяснили, что процессы образования новых структур характерны не только для живой, но и для неживой природы (при этом процессы в неживой природе удаётся описать на математическом языке).

Синергетика занимается выявлением общих закономерностей, лежащих в основе процессов возникновения, поддержания, устойчивости и разрушения структур самой различной природы: физических, химических, биологических, технических, экономических, социальных.

В новый
портфель

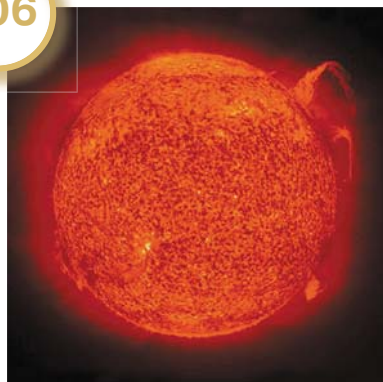


Рис. 81
Гранулы на Солнце

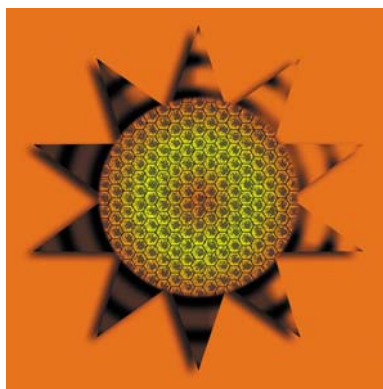


Рис. 82
Ячейки Бенара

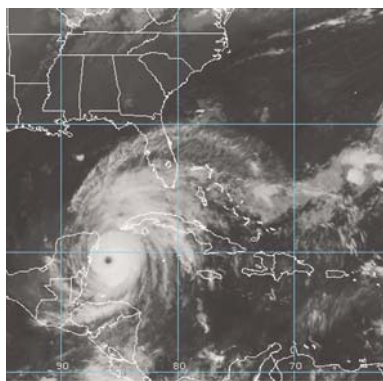


Рис. 83
Фотография циклона,
сделанная с космического
аппарата

ОТ ХАОСА К ПОРЯДКУ И ОБРАТНО. Все процессы самоорганизации связаны общей закономерностью: под влиянием на некоторую систему неупорядоченного внешнего воздействия в этой системе возникают упорядоченные временные и пространственные структуры. Простейший пример — наша речь. Напрягая определённые мышцы и выдувая воздух, мы создаём звуковую волну, которая упорядочена как во времени, так и в пространстве. Аналогичные процессы происходят во многих музыкальных инструментах (флейта, орган, гармонь, скрипка). В физике такие процессы называют генерацией волн (в данном случае звуковых волн) или *автоколебаниями*. Люди уже достаточно давно научились генерировать не только звуковые, но и электромагнитные волны (радиопередатчики, лазеры). Другим примером возникновения волн являются волны на поверхности воды или на песке в пустыне, образующиеся под воздействием неупорядоченного потока воздуха — ветра.

Можно привести примеры и более сложных процессов самоорганизации в неживой природе.

В телескопы хорошо видны гранулы на ровной солнечной поверхности и солнечные пятна (рис. 81). Гранулы образуются в результате конвекции солнечного вещества и по виду похожи на соты. Они непрерывно рождаются и умирают, проживая в среднем несколько минут. Искусственно образование такого рода структур было воспроизведено при равномерном подогреве снизу некоторых жидкостей (например, ртути). Соответствующие структуры были названы *ячейками Бенара* (рис. 82).

Ещё одним примером процессов самоорганизации являются протяжённые вихри в атмосфере нашей планеты — циклоны и антициклоны (рис. 83). Существование этих вихрей во многом похоже на жизнь организмов — они рождаются, живут, передвигаясь по планете и принося нам хорошую или плохую погоду, и умирают. Оказывается, законы, которым подчиняются процессы во Вселенной, едины и подобные вихри существуют и на других планетах; например, большое красное пятно на Юпитере является настолько устойчивым образованием, что его наблюдают уже сотни лет.

Автоколебания возникают и при некоторых химических процессах. Классическим примером химической реакции этого типа является реакция Белоусова—Жаботинского — взаимодействие бромата калия, малоновой кислоты, серной кислоты и сульфата церия. В процессе этой реакции ионы церия Ce^{4+} , находящиеся в растворе, периодически превращаются в ионы Ce^{3+} и обратно. Внешне это проявляется в периодическом изменении цвета раствора. В зависимости от концентраций растворённых веществ период колебаний варьирует от 2 до 100 с.

В новый портфель

В природе постоянно и повсеместно происходят как процессы образования новых структур (самоорганизация), так и процессы их разрушения. Хотя внешние проявления процессов самоорганизации существенно различаются, все они обладают сходными качественными особенностями, что позволяет описывать их одинаковыми математическими уравнениями.

Образование структур наблюдается и в мегамире. О единстве законов самоорганизации можно судить по внешнему сходству циклонов и спиральных галактик (см. фотоснимки галактик на с. 79).

Из рассмотренных примеров видно, что процессы самоорганизации характерны для самых разнообразных явлений, которые изучают различные естественные науки — физика, химия, биология. Более того, в развитии общества также наблюдаются процессы самоорганизации, и законы синергетики оказываются применимыми для описания эволюции общества. В связи с этим иногда говорят о физическом, химическом, биологическом и социальном уровнях эволюции.

??

- ▷ В чём сходство процессов самоорганизации в живой и неживой природе?
- ▷ Как вы думаете, почему облака неравномерно распределены в атмосфере?
- ▷ Исследования показывают применимость законов самоорганизации для общества. Можете ли вы привести подобные примеры общественных процессов?

68 САМООРГАНИЗАЦИЯ. ПРИЧИНЫ И УСЛОВИЯ

Урок-лекция

Жизнь творит порядок,
но порядок не творит жизни.
А. де Сент-Экзюпери

?

Какими характерными свойствами обладают системы, способные к самоорганизации? Каков механизм самоорганизации?

Открытая система • Флуктуации • Нелинейность • Бифуркации

Ключевые
слова

Биологические системы. Дифференцировка клеток (см. § 29, 33). Колебательный контур. Электромагнитные колебания. Виды теплообмена: теплопередача, теплопроводность, конвекция (Физика, 7—9 кл.).

Из старого
портфеля

Из примеров, уже рассмотренных нами, видно, что не только «жизнь творит порядок», но и законы самоорганизации оказываются общими как для живой, так и для неживой природы. Однако каким же образом из бесструктурной субстанции самообразуются временные и пространственные упорядоченные структуры? Чтобы это понять, необходимо выяснить, что общего во всех системах, способных к самоорганизации.

СВОЙСТВА СИСТЕМ, СПОСОБНЫХ К САМООРГАНИЗАЦИИ. Прежде всего следует ответить на вопрос: не противоречит ли возникновение порядка из хаоса закону возрастания энтропии, в соответствии с которым энтропия — мера беспорядка в системе — непрерывно возрастает? Обратите внимание на то, что этот закон сформулирован для замкнутых систем, т. е. для систем, не взаимодействующих каким-либо образом с телами окружающего мира. Все приведённые ранее примеры

относятся к **открытым системам**, т. е. к системам, обменивающимся с окружающими их внешними телами энергией и веществом.

Понятно, что можно выделить замкнутую систему, в которой происходит самоорганизация. Например, представим себе изолированный от излучения звёзд космический корабль, в котором произрастают растения. Очевидно, что в любой такой замкнутой системе можно выделить подсистему, в которой именно и происходит самоорганизация и энтропия которой убывает, в то время как энтропия замкнутой системы в целом возрастает в полном соответствии со вторым началом термодинамики.

В новый портфель

Процессы самоорганизации происходят в открытых системах. Если самоорганизация происходит в замкнутой системе, то всегда можно выделить открытую подсистему, в которой происходит самоорганизация, в то же время в замкнутой системе в целом беспорядок возрастает.

Другой отличительной особенностью систем, способных к самоорганизации, является неравновесное, неустойчивое состояние, в котором они находятся.

Например, внешнее воздействие — нагревание сосуда приводит к разнице температур в отдельных макроскопических областях жидкости, возникают ячейки Бенара (см. рис. 82).

Состояние системы, далёкой от равновесия, является неустойчивым в отличие от состояния системы, близкой к равновесию, и именно в силу этой неустойчивости и возникают процессы, приводящие к возникновению структур.

В новый портфель

Самоорганизация происходит в системах, состояние которых в данный момент существенно отличается от равновесного состояния.

Ещё одна особенность способных к самоорганизации систем — большое число частиц, составляющих систему. Дело в том, что только в системах с большим числом частиц возможно возникновение **флуктуаций** — малых случайных возмущений, неоднородностей. Именно флуктуации способствуют переходу системы из неустойчивого состояния в более упорядоченное устойчивое состояние.

Наблюдать флуктуации достаточно сложно; как правило, они не проявляют себя в макроскопическом мире, где работают наши органы чувств.

Можно привести пример возникновения шумов в громкоговорителе при отсутствии передачи. Эти шумы появляются вследствие хаотического движения электронов в элементах радиотехнического устройства. Хаотическое движение электронов приводит к флуктуациям электрического тока, которые мы слышим после их усиления и преобразования в звук.

В новый портфель

Самоорганизация возможна лишь в системах с большим числом частиц, составляющих систему.

Процессы самоорганизации описываются достаточно сложными математическими уравнениями. Особенностью таких уравнений и соответственно систем, которые они описывают, является **нелинейность**. Это свойство, в частности, приводит к тому, что малые изменения в системе в какой-то момент времени могут оказать существенное влияние на дальнейшее развитие системы во времени. Именно в силу этого свойства процессы самоорганизации во многом определяются случайными факторами и не могут быть однозначно предсказаны.

В новый портфель

Эволюция систем, способных к самоорганизации, описывается нелинейными уравнениями.

КАК ПРОИСХОДИТ САМООРГАНИЗАЦИЯ. Каким же образом происходят процессы самоорганизации? Строгое описание, как уже говорилось, требует применения сложного математического аппарата. Однако на качественном уровне эти процессы можно достаточно просто объяснить.

Простейший эксперимент можно осуществить, имея усилитель (например, магнитофон) и поднося микрофон к громкоговорителю. При этом может возникнуть гудение или свист, обусловленные автогенерацией электрического сигнала, т. е. спонтанным возникновением электромагнитных колебаний.

Данный пример иллюстрирует процесс самоорганизации с образованием временных структур. Аналогично объясняется и образование пространственных структур. Рассмотрим простейший пример с образованием ячеек Бенара.

При нагревании жидкости возникает перепад температур между её нижними и верхними слоями. Нагреваемая жидкость расширяется, её плотность уменьшается, и нагретые молекулы устремляются вверх. Возникают хаотические потоки — флуктуации движения жидкости. Пока разность температур нижнего и верхнего уровней жидкости невелика, жидкость находится в устойчивом состоянии и эти флуктуации не приводят к макроскопическому изменению структуры жидкости. При достижении определённого порога (определённой разности температур между нижними и верхними слоями) бесструктурное состояние жидкости становится неустойчивым, флуктуации разрастаются и в жидкости образуются цилиндрические ячейки. В центральной области каждой ячейки жидкость поднимается, а вблизи вертикальных граней опускается (рис. 84). В поверхностном слое жидкость растекается от центра к краям, в придонном — от границ цилиндров к центру. В результате в жидкости образуются упорядоченные конвекционные потоки.

Структуры в системе возникают, когда нелинейные эффекты, определяющие эволюцию и обусловленные внешним воздействием на систему, становятся достаточными для разрастания флуктуаций, присущих таким системам. В результате разрастания флуктуаций система переходит из неустойчивого бесструктурного состояния в устойчивое структурированное состояние.

В новый
портфель

Объяснение механизма самоорганизации, конечно же, не может предсказать какие-либо количественные характеристики образующихся структур, например частоту генерации или форму и размеры ячеек Бенара. Математическое описание подобных процессов является непрос-той задачей. Однако качественные особенности механизмов самоорганизации можно сформулировать достаточно просто.

Образование структур всегда связано со случайными процессами, поэтому при самоорганизации, как правило, происходит самопроизвольное нарушение симметрии, а также имеют место **бифуркации** (от лат. *bifurcatio* — раздвоение), т. е. неоднозначное развитие различных процессов. В *точках бифуркации* под воздействием незначительных факторов система выбирает один из нескольких возможных путей развития.

В качестве примера нарушения симметрии в живой природе можно привести процесс возникновения сложной структуры организма из яйцеклетки в процессе его индивидуального развития (см. § 71). Так же как и в эволюции физических систем, в ходе развития зародыша возникают последовательные нарушения симметрии. Они возникают самопроизвольно в результате

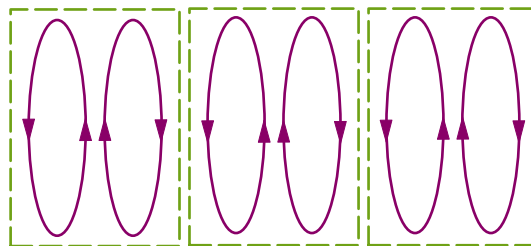


Рис. 84

Конвекционные потоки в ячейках Бенара (пунктиром обозначены ячейки, сплошной линией — конвекционные потоки)

неустойчивости симметричного состояния. При этом появление новой формы зародыша и дифференцировка клеток сопровождают друг друга.

Экспериментальные наблюдения показали, что развитие организма происходит как бы скачками. Этапы быстрых превращений, зарождения новой фазы сменяются плавными стадиями. В ходе развития организма реализуется определённая последовательность бифуркаций, имеют место фазы неустойчивостей. Именно в это время изменение химических свойств окружающей среды может воздействовать на формирование зародыша, искажая его нормальное развитие.

??

- ▷ В § 67 приведены примеры возникновения различных структур в процессах самоорганизации. Попробуйте объяснить, какие флуктуации приводят к образованию тех или иных структур.
- ▷ Основной естественно-научной гипотезой, объясняющей возникновение жизни на Земле, является гипотеза самоорганизации. Земля находится далеко от Солнца и других планет. Почему её нельзя считать замкнутой системой?

69 БИФУРКАЦИИ И СПОНТАННОЕ НАРУШЕНИЕ СИММЕТРИИ

Урок-практикум

Но как могло случиться, что природа почти симметрична, а не абсолютно симметрична?
...боги сотворили свои законы только приближённо симметричными, чтобы мы не завидовали их совершенству!

Р. Фейнман

?

Как на опытах убедиться в возможностях бифуркаций при развитии сложных систем во времени? Какая симметрия спонтанно нарушается в этих опытах?

Из старого портфеля

Осевая и центральная симметрия (Геометрия, 7 кл.). Трансляционная симметрия, зеркальная симметрия, сферическая симметрия (см. § 39, 40). Закон Архимеда. Условия плавания тел (Физика, 7 кл.).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Провести опыты, демонстрирующие прохождение различными системами точек бифуркации и связанное с этим спонтанное нарушение симметрии.

ПЛАН РАБОТЫ. Последовательно выполняя задания, изучить нарушение симметрии и явление бифуркации.

Существует притча, приписываемая французскому философу XIV в. Жану Буридану, в которой говорится об осле, стоящем между абсолютно одинаковыми и равноудалёнными от него охапками сена. Будучи не в состоянии сделать выбор, к какой из охапок идти, осёл обречён на голодную смерть в идеально симметричном мире (рис. 85).

Очень часто в точках бифуркации изменяется симметрия системы. Поскольку прохождение точек бифуркации связано с влиянием случайных событий, то симметрия системы также изменяется случайно, неожиданно, или, употребляя научный язык, *спонтанно*. Именно в точках бифуркации и происходит спонтанное нарушение симметрии. Это спонтанное нарушение симметрии, конечно же, произойдёт и в том случае, если на место буриданова осла поставить осла реального.



Виктор Васнецов. Витязь на распутье

Какие ещё иллюстрации, с вашей точки зрения, могут отражать явление бифуркации?

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

1. Проведите опыт с линейкой. Для опыта можно использовать металлическую, деревянную или пластиковую линейку. Один конец линейки уприте в стол, а на другой конец надавите рукой, стараясь держать ладонь горизонтально. Если вы постепенно будете увеличивать силу давления, в некоторый момент времени линейка резко изогнётся дугой. Направление изгиба определяется случайными факторами (рис. 86). Важно, чтобы линейка была симметричной, т. е. на ней не было несимметричных срезов с разных сторон, и была прямой (не изогнутой дугой). Опыт повторите несколько раз. Объясните, какая симметрия нарушается.

Если при проведении опыта линейка после снятия напряжения остаётся слегка изогнутой, перед повторным опытом попробуйте её выпрямить.

ПОДСКАЗКА

Попробуйте повлиять на направление изгиба линейки рукой, наклоня ладонь. Если опыт проводится с деревянной линейкой, то это, скорее всего, удастся.



Рис. 85
Буриданов осёл

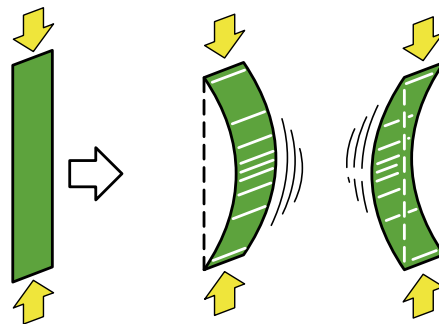


Рис. 86
Бифуркации при сжатии линейки

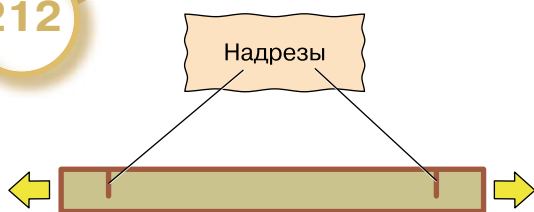


Рис. 87

Приспособление для проведения опыта

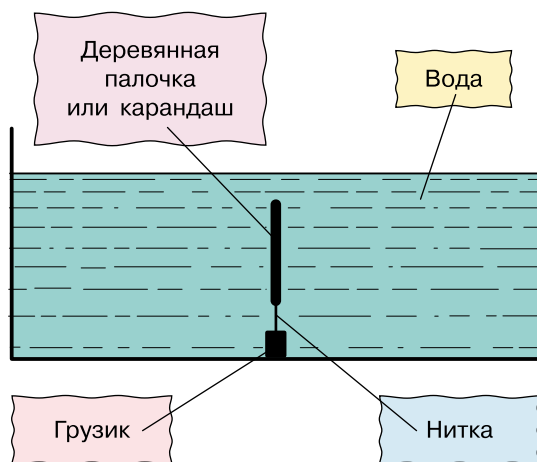


Рис. 88

Схема проведения опыта

2.

Для выполнения задания вам потребуется лист бумаги, линейка с делениями или циркуль, карандаш и ножницы. Вырежьте из бумаги прямоугольную полоску. Длина полоски должна быть около 10 см, ширина — примерно 1 см. С двух сторон полоски на одинаковых расстояниях от краёв (расстояния могут быть произвольными) сделайте два одинаковых надреза (рис. 87). Надрезы могут быть произвольной длины, важно, чтобы они были одинаковыми.

Определите, какой симметрией обладает полоска.

Попробуйте ответить на вопрос: если взяться за края полоски и потянуть их в разные стороны, на сколько частей разорвётся полоска? Проведите опыт и убедитесь, что полоска разрывается на две части. Повторите опыт несколько раз, изменяя размеры полоски, положение и длину надрезов, силу, с которой вы разрываете полоску. Убедитесь, что результат всегда один — полоска разрывается на две части. Какая симметрия нарушается в опыте? Объясните результат опыта.

ПОДСКАЗКА

В данном случае флуктуации обусловлены неоднородностью бумаги.

3.

Для этого опыта требуется раковина с пробкой (опыт можно провести в кабинете физики или химии). Опыт настолько прост, что может быть легко проведён школьниками самостоятельно в обычной домашней ванне.

Вам понадобится ровная симметричная палочка из материала с плотностью меньше, чем у воды. Это может быть деревянный карандаш (лучше круглый) или спичка (достаточно ровная). К концу палочки приклейте не растворяющимся в воде клеем или прикрепите пластилином нить. Постарайтесь сделать это так, чтобы нить была прикреплена по центру торца палочки. К свободному концу нити привяжите такой грузик, чтобы палочка не всплывала при большом уровне воды в раковине, а плавала в вертикальном положении (рис. 88).

Заполните раковину водой настолько, чтобы палочка плавала в вертикальном положении. Возможно, после заполнения раковины палочка будет колебаться вместе с водой. Дождитесь, пока эти колебания не прекратятся. Слегка приоткройте пробку в раковине так, чтобы вода медленно вытекала через сливное отверстие. Важно, чтобы течение воды вдоль раковины было очень слабым.

Пронаблюдайте за палочкой. Начиная с некоторого момента она начнёт наклоняться. После того как наклон станет заметным для глаза, медленно и осторожно (не создавая потоков воды)

попытайтесь изменить наклон палочки. Убедитесь, что возможен наклон в любом направлении. (При медленном вытекании воды изменённый наклон должен сохраняться.)

Объясните, какие факторы влияют на выбор первоначального направления наклона палочки. Какова исходная симметрия системы и какая симметрия возникает после наклона палочки? (При ответе на вопрос можно считать, что раковина очень большая.) Можно ли так поставить опыт (выбрать полностью симметричную палочку и раковину, прикрепить нить точно по центру), чтобы при понижении уровня воды палочка всё время оставалась в вертикальном положении?

ПОДСКАЗКА

Вспомните о флуктуациях в газе и о броуновском движении.

4. Этот опыт может быть проведён в раковине или обычной домашней ванне с закрывающейся пробкой. Важно, чтобы раковина или ванна была симметричной. В данном случае симметрия означает, что существует вертикальная плоскость, проходящая через центр сливного отверстия, относительно которой раковина или ванна зеркально-симметрична.

Наполните раковину или ванну так, чтобы слой воды был примерно 10 см. Дождитесь, пока колебания воды не прекратятся, и откройте пробку. В некоторый момент при вытекании воды около сливного отверстия образуется воронка, вода начнёт закручиваться.

Определите направление, в котором закручивается вода (по часовой стрелке или против часовой стрелки). Для лучшего наблюдения можно добавить около воронки каплю красителя. Повторите опыт несколько раз и убедитесь, что направление, в котором закручивается вода, остаётся неизменным.

Объясните, какая симметрия нарушается при образовании воронки.

В заключение обратим ваше внимание на то, что понятие симметрии всегда связывалось с понятием красоты и совершенства. Р. Фейнман, обсуждая нарушение симметрии, приводит следующее японское предание. В японском городе Никко есть ворота, которые японцы называют самыми красивыми воротами страны. Считают, что они были построены полулегендарным архитектором и резчиком Хидари Дзингоро (середина XVII в.). Это необычайно сложные ворота, с множеством фронтонов, изумительной резьбой и большим количеством колонн, на основании которых вырезаны драконьи головы, божества и т. п. Но, приглядевшись, можно заметить, что на одной из колонн некоторые мелкие детали вырезаны вверх ногами. В остальном рисунок на колонне полностью симметричен. По преданию, это было сделано для того, чтобы боги не заподозрили человека в совершенстве. Ошибка была сделана, дабы не вызвать зависти и гнева богов. Продолжая эту мысль, Фейнман и предлагает объяснение, приведённое в качестве эпиграфа к параграфу.

Бифуркации в развитии сложных систем во времени происходят под влиянием малых факторов. В некоторых случаях бифуркации сопровождаются изменением симметрии, т. е. симметрия системы спонтанно нарушается.

**В новый
портфель**

Нет живого не из яйца!
Каждое живое от живого.
У. Гарвей

?

Каковы способы самовоспроизведения живых организмов? В чём заключаются преимущества полового размножения перед бесполом? Какие формы бесполого и полового размножения существуют? Как формируются гаметы? Как чередуются поколения в жизненных циклах?

Ключевые
слова

Бесполое размножение • Половое размножение • Зигота • Гаметы • Соматические клетки • Мейоз • Жизненный цикл

Из старого
портфеля

Репликация ДНК (см. § 30). Гомологичные хромосомы (Биология, 9 кл.). Хроматиды. Гаплоидный и диплоидный набор хромосом (Биология, 9 кл.). Изменчивость (см. § 29). Вегетативное размножение (Биология, 5—9 кл.). Размножение инфузорий (Биология, 7 кл.).

Процессы самоорганизации в биологических системах представляют собой развитие любого организма как открытой неустойчивой (неравновесной) системы. В ходе такого развития могут сменяться не только разные стадии (личинки и взрослые особи), но и разные поколения (бесполое и половое). Рассмотрим многообразие этих процессов и биологические механизмы, лежащие в их основе.

САМОВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ КАК ПРОЦЕСС САМООРГАНИЗАЦИИ. Способность воспроизводить себе подобных (размножение) — одно из главных свойств живых организмов. Оно обеспечивается благодаря репликации ДНК, позволяющей дублировать генетическую информацию. Размножение же организмов, как таковое, может быть бесполом и половым. При **бесполом размножении** новая особь образуется из одной клетки или группы клеток материнского организма. При **половом размножении** новая особь развивается из **зиготы** — клетки, которая образуется при слиянии двух специализированных половых клеток. Эти специализированные клетки носят название **гамет** и продуцируются родительскими особями.

У высших растений и животных в **соматических клетках** (т. е. в клетках тела) каждая хромосома представлена в двух экземплярах. Такие пары хромосом называют *гомологичными хромосомами*, а двойной хромосомный набор соматической клетки — *диплоидным набором* (обозначается $2n$). В ходе своего формирования гаметы получают по *гаплоидному* (одинарному) *набору хромосом* (обозначается n), а при слиянии ядер двух гамет в зиготе диплоидный набор хромосом восстанавливается. Однако в каждой паре гомологичных хромосом в зиготе одна хромосома будет от одного родительского организма, а другая — от другого. Поэтому развивающийся из зиготы организм будет обладать новым сочетанием (комбинацией) различных признаков и свойств, т. е. отличаться от своих родителей. Это *комбинативная форма наследственной изменчивости*. Она является существенным фактором эволюции, обеспечивающим приспособление видов к меняющимся условиям среды. В этом,

собственно, и заключается смысл полового размножения и его преимущество перед бесполом размножением. Неудивительно, что половое размножение возникло на ранних этапах эволюции и служит доминирующей формой размножения высших многоклеточных организмов.

Механизмом, обеспечивающим уменьшение (редукцию) числа хромосом в гаметах, служит так называемое редукционное деление — **мейоз**.

Мейоз состоит из двух следующих друг за другом делений клетки (рис. 89). В *интерфазе I*, предшествующей первому делению, как и в интерфазе митоза (см. § 32), происходит удвоение хромосом, причём обе копии остаются тесно связанными друг с другом. В *профазе I* происходит тесное смыкание (*конъюгация*) гомологичных хромосом;

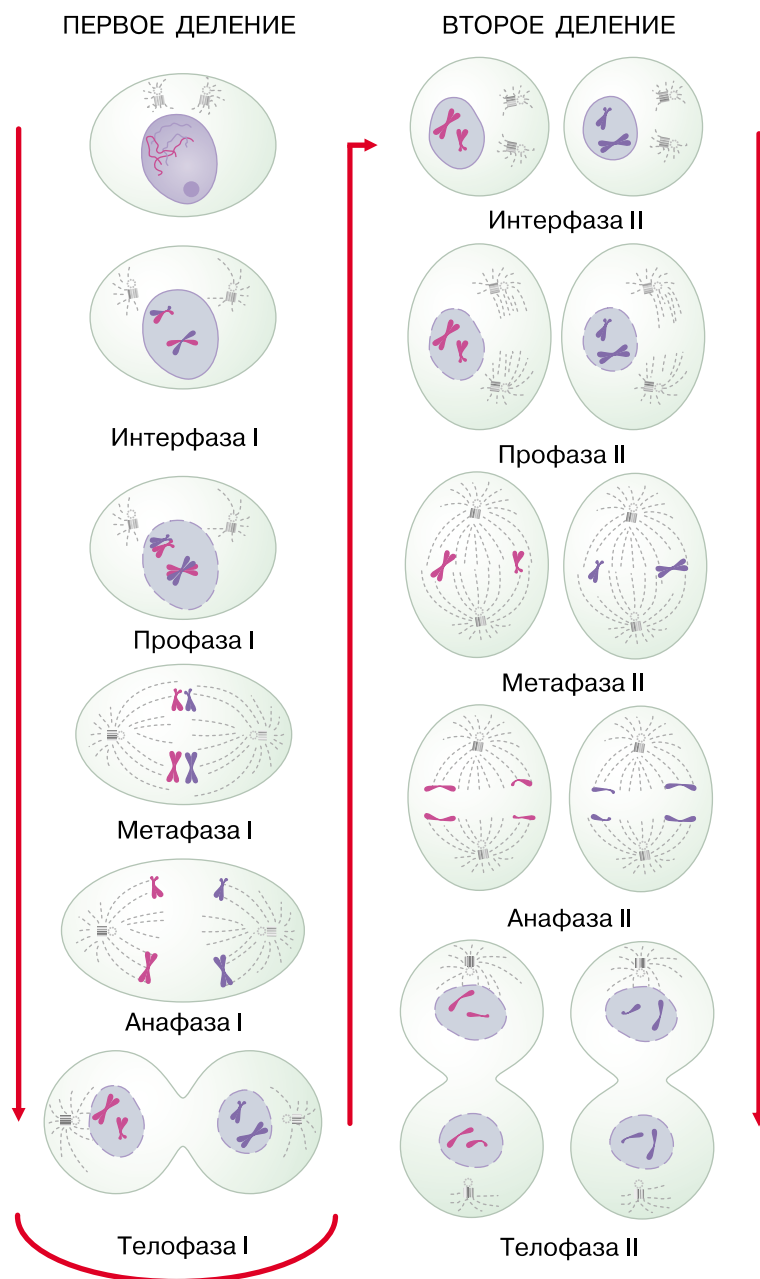


Рис. 89
Схема мейоза

при этом возможен перекрёст хромосом (*кроссинговер*), когда гомологичные хромосомы обмениваются участками. В *метафазе I* пары гомологичных хромосом, тесно прилегающих друг к другу, располагаются в экваториальной плоскости клетки. В *анафазе I* осуществляется случайное расхождение двуххроматидных хромосом к противоположным полюсам клетки (из каждой пары гомологичных хромосом одна хромосома отходит к одному полюсу, другая — к другому), вслед за этим в *телофазе I* образуется ядерная оболочка и делится цитоплазма. Затем следует непродолжительная *интерфаза II*, во время которой хромосомы уже не удваиваются.

Второе мейотическое деление принципиально не отличается от митоза. Удвоенные ещё в первой интерфазе хромосомы выстраиваются в экваториальной плоскости клетки. В *анафазе II* происходит деление двуххроматидных хромосом на хроматиды и расхождение этих сестринских хроматид к противоположным полюсам клетки (при этом хроматиды становятся самостоятельными однохроматидными хромосомами). В результате разделения цитоплазмы в *телофазе II* образуются две клетки с гаплоидным набором хромосом. Общий итог двух делений мейоза — четыре гаплоидные клетки. Заметим, что мейоз (так же как и митоз) может происходить и без деления цитоплазмы клетки.



Рис. 90
Бесполое размножение инфузории-туфельки



Рис. 91
Почкующаяся гидра

БЕСПОЛОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ. Бесполое размножение характерно для всех микроорганизмов. У одноклеточных эукариот оно осуществляется несколькими способами, чаще всего благодаря делению клеток надвое (рис. 90).

У многоклеточных организмов бесполое размножение чаще всего встречается в форме вегетативного размножения и спорообразования. При *вегетативном размножении* новая особь образуется из части (группы клеток) материнского организма. У водорослей, грибов и беспозвоночных часто встречается почкование (рис. 91), при котором новая особь появляется на теле материнской в результате интенсивного размножения её соматических клеток на определённом участке тела — зоне почкования. Разнообразные формы вегетативного размножения характерны и для высших растений: при помощи клубней, ползучих побегов, корневищ, луковиц и т. п.

Всем видам растительных организмов, грибам и многим простейшим присуще также и *спорообразование*. При этом образуются одноклеточные особи (споры), которые покидают материнский организм, рассеиваются в пространстве и дают затем начало новому организму.

ПОЛОВОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ. Начальный этап формирования полового процесса (т. е. обмена генетической информацией) в ходе эволюции — это конъюгация бактерий. В процессе конъюгации при непосредственном контакте клеток две бактерии частично обмениваются генетическим материалом. Аналогичный процесс (обмен малыми гаплоидными ядрами) наблюдается у инфузорий. Число особей в результате такого полового процесса не изменяется.

Позднее у живых организмов появились специальные половые клетки (гаметы). В процессе эволюции полового размножения возникло разделение

на мужские и женские особи: женские гаметы стали крупными и неподвижными (яйца или яйцеклетки), а мужские — мелкими, снабжёнными жгутиками и подвижными (сперматозоиды).

Процесс *оплодотворения* заключается в слиянии мужских и женских гамет с образованием зиготы. Различают наружное и внутреннее оплодотворение. Первое характерно для многих водных организмов. Например, моллюски, рыбы, водоросли вымётывают половые продукты наружу, и слияние мужских и женских гамет происходит в водной среде. При внутреннем оплодотворении слияние гамет происходит внутри женского организма. Оно характерно для обитателей суши (высшие растения, насекомые, позвоночные животные).

ЧЕРЕДОВАНИЕ ПОКОЛЕНИЙ. Для некоторых организмов характерно сочетание разных способов размножения в течение их жизни — полового и одного или нескольких вариантов бесполого. Многие простейшие при благоприятных условиях интенсивно размножаются бесполым путём (делением), затем у них происходит половой процесс (например, конъюгация у инфузорий), вслед за этим возобновляется бесполое размножение. Сходная картина наблюдается и у некоторых многоклеточных животных. Например, гидра летом размножается почкованием (см. рис. 91), а с наступлением холодов у неё формируются половые клетки и происходит оплодотворение (рис. 92). Из оплодотворённых яиц на следующий год развиваются новые особи.

Существуют виды, у которых чередование полового и бесполого размножения, а соответственно полового и бесполого поколений носит правильный, циклический характер. Развитие таких видов, начавшись с определённой стадии, проходит через несколько поколений и вновь возвращается к исходной стадии. Подобную совокупность фаз развития, пройдя которые организм достигает зрелости и становится способным дать начало следующему поколению, называют **жизненным циклом**. Например, в жизненном цикле многих кишечнорастных имеет место регулярное чередование полипов и медуз (рис. 93).

Основными способами самовоспроизведения живых существ являются бесполое и половое размножение. При половом размножении формируются гаплоидные клетки (гаметы). Мужские особи производят сперматозоиды, женские — яйца, или яйцеклетки. В процессе оплодотворения образуется диплоидная зигота, в которой половина хромосом происходит от одного родительского организма, а половина — от другого. В жизненных циклах некоторых живых существ наблюдается чередование полового и бесполого размножения.

Существование разных способов размножения обеспечивает сохранение биологического разнообразия в экосистемах, т. е. биосферы в целом.

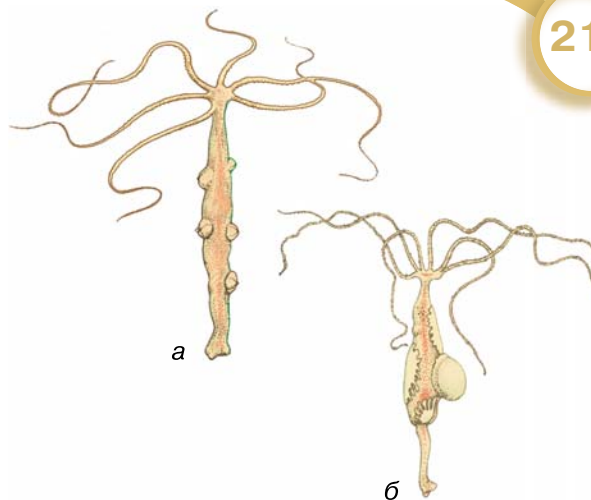


Рис. 92

Половозрелая гидра:

а — с семенниками; б — с яйцами

Для многих водорослей и всех высших споровых растений характерно чередование поколений, при котором половое поколение (гаметофит) гаплоидно, а бесполое (спорофит) диплоидно. Из споры вырастает гаплоидный гаметофит, который продуцирует гаметы. Оплодотворённая яйцеклетка даёт начало диплоидному спорофиту, при образовании спорофитом спор происходит мейоз, и споры, таким образом, оказываются гаплоидными. Цикл замыкается.

У семенных растений гаметофит крайне редуцирован. У цветковых мужской гаметофит представлен пыльцевым зерном, а женский сведён к зародышевому мешку, который находится внутри семязачатка, т. е. окружён со всех сторон тканью спорофита.

**В новый
портфель**



Рис. 93

Жизненный цикл сцифомедуз

??

- ▷ В чём заключается смысл полового размножения? Почему у высших многоклеточных организмов оно доминирует над бесполом размножением?
- ▷ Приведите примеры бесполого размножения у организмов разных систематических групп.
- ▶ Найдите в дополнительной литературе или в Интернете информацию о том, как осуществляется конъюгация у бактерий.
- ▶ Какое значение в жизни вида имеет чередование поколений в жизненном цикле?

71 САМООРГАНИЗАЦИЯ В РАЗВИТИИ ОРГАНИЗМОВ

Урок-лекция

Курица — это то, что необходимо яйцу для производства других яиц.

С. Батлер

?

Что такое онтогенез? Каковы основные этапы индивидуального развития и их особенности? Как образуются экто-, энто- и мезодерма? Как осуществляется регуляция онтогенеза?

Ключевые слова

Индивидуальное развитие (онтогенез) • **Эмбриональный период** • **Дробление** • **Бластула** • **Гаструла** • **Постэмбриональный период**

Из старого портфеля

Дифференцировка клеток (см. § 33). Транскрипция и трансляция (см. § 51; Биология, 9 кл.). Точки бифуркации (см. § 68).

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ — ОНТОГЕНЕЗ. Процессы самоорганизации в биологических системах реализуются в ходе индивидуального развития организма — **онтогенеза**. У многоклеточных организмов, размножающихся половым путём, под этим подразумевают процесс развития особи, начиная с зиготы и до её естественной смерти. На первом этапе в результате интенсивных митотических делений происходит нарастание количества клеток, входящих в состав развивающегося организма. Процесс этот сопровождается дифференцировкой клеток, в результате чего формируются различные ткани и органы взрослого организма. Весь ход онтогенеза базируется на заложенной в хромосомах зиготы генетической программе, на реализацию которой, особенно на ранних этапах развития, существенное влияние оказывают факторы окружающей среды.

Индивидуальное развитие свойственно и организмам, возникающим в результате бесполого размножения. У одноклеточных образующиеся при делении материнской особи клетки меньше её по размерам, лишены ряда органелл, которые формируются лишь с течением времени одновременно с увеличением объёма цитоплазмы. Достигнув зрелого состояния, эти клетки делятся и дают начало следующему поколению одноклеточных особей. И хотя естественной смерти при этом не происходит, индивидуальным развитием особи можно считать период от одного деления до другого.

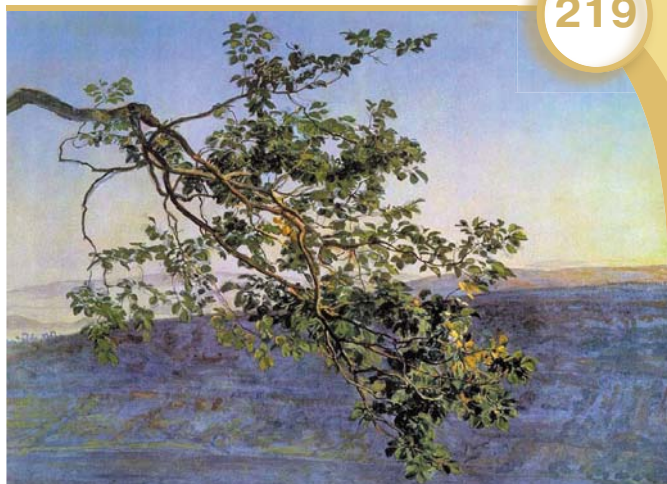
У размножающихся бесполом путём многоклеточных организмов онтогенез выражен более отчётливо. У гидры, например, этот процесс начинается с момента зарождения почки на материнском организме и длится до смерти дочерней особи.

ЭТАПЫ ОНТОГЕНЕЗА. Онтогенез многоклеточных животных, размножающихся половым путём, делится на последовательные этапы:

зигота —> эмбриональный период —> рождение особи —>
—> постэмбриональный период —> естественная смерть

Эмбриональный период развития начинается с **дробления** зиготы. Это ряд последовательных митотических делений яйцеклетки, в ходе которых она, не увеличиваясь в размерах, разделяется на всё более мелкие клетки — **бластомеры**. В результате возникает **бластула**. В типичном случае она представляет собой полый шар, стенка которого образована одним слоем клеток (рис. 94, а), а внутренняя полость заполнена жидкостью. Следующим шагом в эмбриональном развитии является формирование двуслойного зародыша — **гастролы**. Способы образования гастролы различны. Самые распространённые из них — это миграция некоторых клеток бластулы внутрь (рис. 94, б) либо впячивание клеточного слоя на одном из её полюсов (рис. 94, в). Наружный слой клеток гастролы называют *эктодермой*, а внутренний — *энтодермой*.

У всех животных, за исключением губок и кишечнополостных, в конце формирования гастролы появляется ещё один слой клеток — *мезодерма*, располагающийся между эктодермой и энтодермой (рис. 95).



Александр Иванов. Ветка

Из солнечных лучей, из струй весенних ливней
Оно плетёт листвы живые кружева,
К покорным небесам всё выше, всё призывней
Вздывается его могучая глава...

Э. Верхарн. Дерево

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

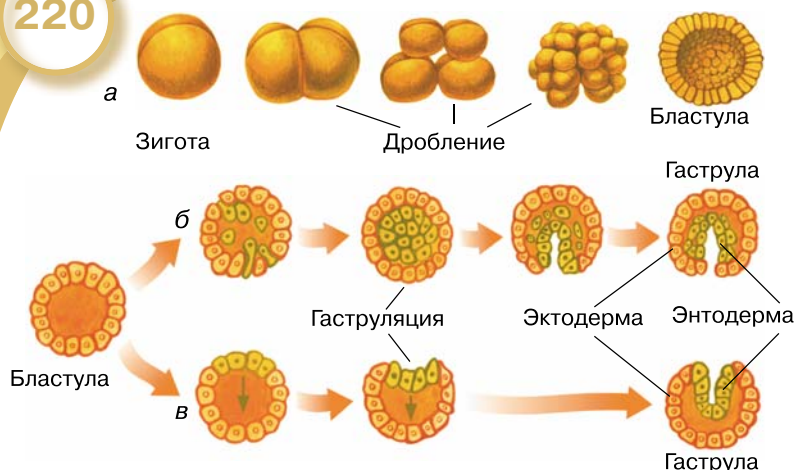


Рис. 94

Дробление зиготы, возникновение бластулы (а) и два способа образования гастролы (б, в)

характеризуется структурно-функциональными изменениями в организме, которые накапливаются с течением времени. В какой-то момент функционирование системы в целом оказывается невозможным и наступает смерть.

Общепринятого объяснения механизмов, лежащих в основе процесса старения, нет. Существуют многочисленные гипотезы, в большинстве из которых причины старения связывают с возрастными изменениями в генетическом аппарате клеток.

РЕГУЛЯЦИЯ ОНТОГЕНЕЗА. Вопрос о том, как из оплодотворённого яйца вырастает целый организм, до сих пор остаётся одним из центральных в биологии. Долгое время господствовали взгляды *преформизма*, согласно которому процесс развития — это просто рост органов организма, уже сформированного (преформированного) в половых клетках (рис. 96).

В противовес преформизму в середине XVIII в. была предложена теория *эпигенеза*, в соответствии с которой развитие организма происходит не из преформированных органов, а из просто устроенного зародыша в результате последовательных новообразований.

Подойти к решению проблемы регуляции онтогенеза стало возможным лишь с развитием современной экспериментальной биологии и генетики.

Прежде всего было установлено, что специализация клеток при развитии организма не сопровождается потерей части генов, содержащихся в зиготе. Группе шотландских учёных в 1997 г. удалось вырастить нормально сформированную овцу из яйцеклетки, собственное ядро которой было удалено, а вместо него пересажено ядро, выделенное из клетки молочной железы овцы другой породы. Эти опыты, которые были впоследствии повторены на мышах и овцах, ещё раз убеждают в том, что в ходе нормального развития необратимых модификаций генетического материала не происходит.

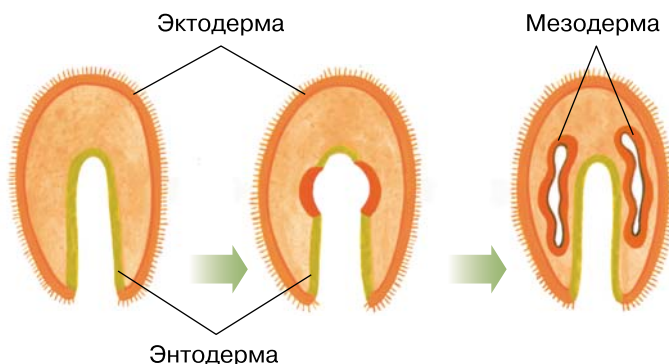


Рис. 95

Образование трёхслойного зародыша

Если при дифференцировке клеток, как правило, не возникает генетических модификаций, то как же осуществляется регуляция онтогенеза? По современным представлениям этот процесс обуславливается *дифференциальной активностью генов*. Это означает, что в разных клетках развивающегося зародыша активна лишь часть генов. Остальные хотя и присутствуют, но находятся в «выключенном» состоянии, и с них не считывается информация в виде мРНК. В одних клетках функционируют одни гены, в других — другие. В ходе деления этих клеток возникают различным образом дифференцированные клетки, а на их основе строятся ткани и формируются органы.

Молекулярные механизмы, которые регулируют активацию тех или иных генов, сложны и изучены пока ещё недостаточно. Известно, что в яйцеклетках, как и в других клетках организма, присутствуют белки, которые могут «открывать» или «запирать» определённые гены. Такой *регуляторный белок* взаимодействует с регулируемым им геном и в зависимости от характера регуляции либо делает возможным начало транскрипции с него мРНК, либо, наоборот, препятствует этому.

В яйцеклетке различные регуляторные белки концентрируются в разных участках цитоплазмы. Поэтому при дроблении зиготы они неодинаково распределяются между бластомерами. Соответственно и клетки, которые развиваются из этих бластомеров, будут различаться. На более поздних этапах развития зародыша проявляются взаимодействия клеток разных типов и разных частей развивающегося организма за счёт выделения клетками особых веществ — *индукторов*, оказывающих влияние на клетки других типов. На завершающих этапах эмбрионального развития и в течение постэмбрионального периода всё большее значение приобретает *гормональная регуляция* активности генов.

На разных этапах онтогенеза в точках бифуркации существенное регулирующее влияние на него оказывают факторы внешней среды (температура, гравитация, различные химические и физические агенты). В это время даже воздействие факторов малой интенсивности может сказаться на ходе дальнейшего развития.

Существенное влияние окружающей среды на реализацию генетической программы при развитии организма приводит к тому, что даже особи с одинаковым генотипом не будут всё же полностью идентичны друг другу.

В 70-х гг. прошлого века выяснилось, что большинство клеток животных несёт в своём генетическом аппарате и программу самоубийства. Такая генетически запрограммированная смерть клеток получила название *апоптоз*. Активируется программа саморазрушения в том случае, когда данная клетка уже не нужна организму либо серьёзно повреждена.

Апоптоз играет важную роль в развитии организма и регуляции его клеточного состава. Он служит защитным механизмом для удаления отработавших своё или ненужных на данном этапе онтогенеза клеток, а также потенциально опасных, например инфицированных вирусами, мутантных либо опухолевых. В клетках злокачественных опухолей программа апоптоза может блокироваться. Это одна из причин, по которой они не имеют пределов в своём размножении.

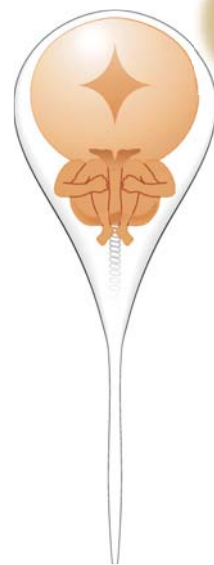


Рис. 96
Иллюстрация взглядов преформистов

В ряде случаев воздействие факторов внешней среды может приводить к аномалиям в развитии организма. Изучением возникающих при этом пороков, а также выяснением причин их появления и роли в этом факторов окружающей среды занимается самостоятельный раздел медико-биологических наук — *тератология*.

ОБРАЗ ЖИЗНИ

В ходе эмбрионального развития живого организма реализуется определённая последовательность бифуркаций, имеют место фазы неустойчивостей. Именно поэтому алкоголь, никотин и некоторые лекарства в дозах, практически не оказывающих влияния на организм взрослого человека, могут отрицательно сказаться на развитии плода. Учтите это в вашей дальнейшей жизни.

В новый
портфель

В процессе индивидуального развития (онтогенеза) живые организмы проходят ряд последовательных стадий, начиная с зиготы и заканчивая естественной смертью. В ходе дифференцировки клеток их генетический аппарат сохраняется в полном объёме. Регуляция онтогенеза (этап эмбрионального развития) основана на дифференциальной активности генов в разных клетках развивающегося зародыша. Важную регулирующую роль на этапах раннего развития играют факторы внешней среды.

??

- ▷ Как формируется бластула? гастрולה?
- ▷ Какие нарушения симметрии проявляются на стадии яйцеклетки?
- ▷ Каким может быть воздействие факторов внешней среды на ранние этапы онтогенеза?
- ▶ На основании текста параграфа составьте схему или таблицу «Механизмы, регулирующие онтогенез».
- ▶ Найдите в Интернете или других источниках информации сведения о стволовых клетках и перспективах их использования в современной медицине.

72 РОЖДЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ

Урок-лекция

Никто ещё не проник в тайну великого начала...
Омар Хайям

?

Стационарна ли Вселенная? С чего всё началось? Что первично: элементарная частица или атом? Какие наблюдения подтверждают гипотезу Большого взрыва?

Ключевые
слова

Космология • Красное смещение • Закон Хаббла • Большой взрыв • Реликтовое излучение

Из старого
портфеля

Электромагнитные волны. Свет — электромагнитная волна (Физика, 8—9 кл.). Химический элемент как вид атомов (Химия, 8 кл.).

Изучив процессы самоорганизации на примере биологических систем, обратимся к рассмотрению систем мегамира. Происхождение и эволюцию Вселенной как единого целого изучает наука, которая называется **космологией**.

ЭФФЕКТ ДОПЛЕРА И КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ. В 1929 г. американский астроном Эдвин Хаббл, изучая спектры галактик, обнаружил, что линии поглощения в этих спектрах существенно смещены по длине волны в красную сторону (в направлении более длинных волн) по сравнению со стандартными лабораторными спектрами. Этот эффект, названный **красным смещением**, объясняется на основе эффекта Доплера как следствие удаления галактик друг от друга.

Эффект Доплера состоит в том, что если источник излучения движется относительно приёмника излучения со скоростью v , то вместо излучения на длине волны λ_0 приёмник регистрирует излучение с длиной волны λ , при этом выполняется соотношение

$$(\lambda - \lambda_0) / \lambda_0 = v/c,$$

где v — скорость источника относительно приёмника; c — скорость света в вакууме. Длина волны увеличивается, если источник удаляется от приёмника, и соответственно уменьшается при их сближении.

Хаббл установил, что скорости удаления далёких галактик v пропорциональны расстояниям до них r . Эта закономерность получила название **закон Хаббла**:

$$v = Hr.$$

Здесь H — коэффициент пропорциональности, *постоянная Хаббла*. Обычно космические расстояния измеряют в парсеках (1 пк $\approx 3,26$ св. года $\approx 3 \cdot 10^{13}$ км), мегапарсеках (Мпк), скорость удаления галактики — в километрах в секунду (км/с), тогда H составляет примерно 75 (км/с)/Мпк.

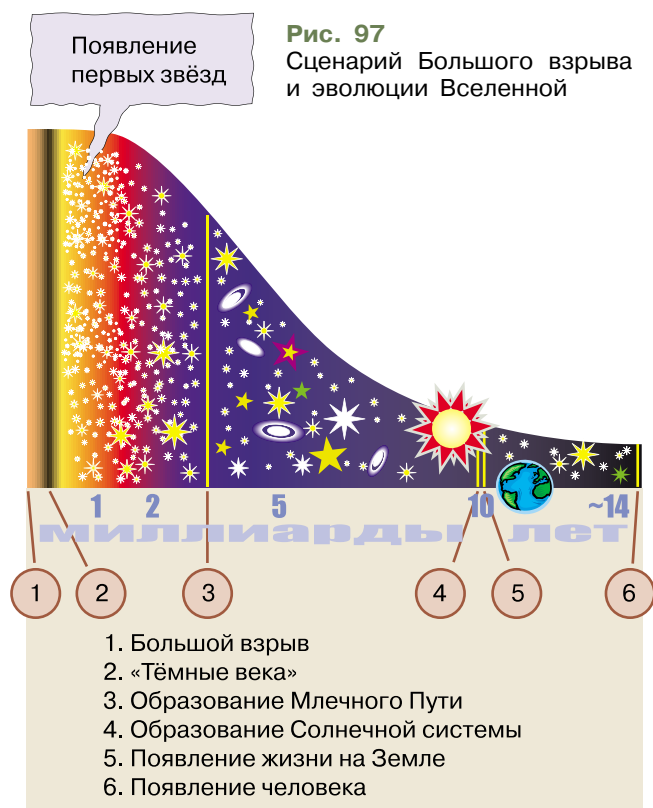
Разбегание галактик может быть объяснено расширением всей Вселенной. Таким образом, в результате наблюдений Хаббла была впервые установлена *нестационарность Вселенной*.

Незадолго до открытия Хаббла, в 1922 г., российский учёный А. А. Фридман, работавший в то время в Петрограде, теоретически показал невозможность существования стационарной Вселенной и считал возможные варианты её эволюции, которые сейчас называют *моделями Фридмана*. Согласно этим моделям если средняя плотность Вселенной превышает критическое значение 10^{-29} г/см³, то через некоторое время под действием гравитации начнётся процесс сближения галактик и схлопывания Вселенной. Если средняя плотность Вселенной меньше критической, то её ожидает бесконечное расширение. И только в случае равенства средней плотности Вселенной и критической плотности расширение Вселенной через какое-то время замедлится и остановится.

ГИПОТЕЗА БОЛЬШОГО ВЗРЫВА. ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ И ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ. Наблюдаемое расширение Вселенной можно трактовать как следствие первоначального **Большого взрыва**, произошедшего в начале существования нашей Вселенной (рис. 97). Согласно современным данным произошло это примерно 14 млрд лет тому назад. В первые мгновения Вселенная была очень горячей и плотной ($T > 10^{30}$ К, $\rho > 10^{93}$ г/см³ и выше), наполненной излучением и рождающимися и аннигилирующими¹ элементарными частицами и их античастицами. Далее в расширяющейся и остывающей Вселенной остались электроны, ядра атомов водорода, гелия, а также дейтерия и лития в незначительных количествах. При остывании Вселенной электроны и ядра стали объединяться в атомы (эпоха рекомбинации и отделения излучения от вещества при $T \approx 4000$ К). Через миллионы лет

¹Аннигиляция — один из видов взаимопревращений элементарных частиц, в процессе которых частица и соответствующая ей античастица превращаются в электромагнитное излучение — фотоны или другие частицы.

в уже холодной, разреженной Вселенной началось формирование галактик из-за гравитационной неустойчивости облаков газа. В галактиках родились звёзды первого поколения, в состав которых входили в основном водород и гелий.



В 1965 г. американские радиоастрономы А. Пензиас и Р. Вильсон обнаружили радиоизлучение Вселенной, достаточно равномерно идущее по всем направлениям, не имеющее источника, с температурой около 2,7 К. Это излучение, названное **реликтовым**, интерпретируют как остаточное излучение ранней горячей Вселенной. Это открытие явилось экспериментальным подтверждением модели эволюции ранней Вселенной.

Формирование более тяжёлых, чем водород и гелий, химических элементов (вплоть до железа) происходит лишь в недрах звёзд. Элементы тяжелее железа синтезируются по современным представлениям только при вспышках сверхновых звёзд, которые происходят в результате эволюции сверхмассивных звёзд. Звёзды второго поколения наряду с водородом и гелием содержат более тяжёлые элементы (азот, кислород, неон и др.). Планетные системы, по-видимому, рождаются вместе с одиночными звёздами второго поколения. Возраст нашего Солнца и тел Солнечной системы оценивают в 4,5—5 млрд лет. Солнце — звезда второго поколения.

В новый портфель

Вселенная по современным представлениям не стационарна, она эволюционирует. Наблюдается ускоренное расширение Вселенной. Химические элементы синтезировались в ходе эволюции Вселенной и космических объектов, прежде всего звёзд.

??

- ▷ Почему наблюдаемый в спектрах далёких галактик сдвиг спектральных линий называют красным смещением?
- ▶ Какие процессы происходили в ранней Вселенной согласно сценарию Большого взрыва?
- ▷ Каким фридмановским сценариям противоречит наблюдаемое сейчас расширение Вселенной?
- ▶ В 1917 г. на основе теории относительности А. Эйнштейн создал свою теорию стационарной Вселенной. Используя дополнительные источники информации, сравните теорию Эйнштейна и современные представления о Вселенной.
- ▶ Приведите доказательства теории Большого взрыва, которыми обладает современная наука.
- ▶ Что, по вашему мнению, могло стать причиной Большого взрыва?

73 ОБРАЗОВАНИЕ ГАЛАКТИК, ЗВЁЗД, ПЛАНЕТНЫХ СИСТЕМ

225

Урок-лекция

Открылась бездна звезд полна;
Звездам числа нет, бездне дна.

М. В. Ломоносов

?

Как и когда образовались галактики? Какой механизм ответствен за образование галактик и звёзд? Как образуются планетные системы?

Космогония • Гравитационная неустойчивость • Протозвезда • Гидростатическое равновесие • Нормальная звезда • Белый карлик • Нейтронная звезда или чёрная дыра • Сверхновая звезда

Ключевые
слова

Состав галактик. Расстояния до галактик. Газовые законы (Физика, 7—9 кл.).

Из старого
портфеля

Проблемой происхождения и развития отдельных небесных тел и их систем занимается область астрономической науки, которая называется **космогонией**.

ФОРМИРОВАНИЕ ГАЛАКТИК. *Галактики* — огромные звёздные системы массой от 10^5 до 10^{14} масс Солнца со средней плотностью вещества в них 10^{-24} г/см³ — являются основными единицами структуры Вселенной.

В начале XX в. английский астроном сэр Джеймс Джинс предложил модель формирования галактик из облаков газа, связанную с **гравитационной неустойчивостью** вещества. Согласно этой модели если в однородном по плотности газе ранней Вселенной случайно обнаружится сгущение, то оно под действием сил гравитации будет сжиматься, обособляться от окружающей среды.

Процессы гравитационного обособления вещества Вселенной стали возможны только после того, как Вселенная в результате расширения охладилась до 4000 К, прошёл процесс рекомбинации, вещество стало

Но для бездн, где летят метеоры,
Ни большого, ни малого нет,
И равно беспредельны просторы
Для микробов, людей и планет.

Н. Заболоцкий



МЫСЛЬ И ОБРАЗ

нейтральным, излучение перестало взаимодействовать с веществом и препятствовать гравитационному сжатию. Это случилось примерно через миллион лет после Большого взрыва. Изучая галактики, находящиеся на разных от нас расстояниях (в миллионы и даже миллиарды световых лет), астрономы фактически имеют возможность исследовать галактики разного возраста. Гравитационное сжатие первоначальной неоднородности происходит до тех пор, пока силы гравитации не компенсируются другими силами: давления, центробежными, связанными с вращением. При этом галактика стабилизируется. Таким образом, формирование звёзд происходит в уже *обособленных* галактиках.

ОБРАЗОВАНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЁЗД. В первоначально однородной галактической среде могли образовываться гравитационные неустойчивости: случайно возникшие уплотнения газа массой более 10^5 масс Солнца под действием гравитации сжимаются и обособляются, распадаются на фрагменты, которые постепенно приобретают сферическую форму. Из них и рождаются звёзды.

Сначала сжатие возникшей **протозвезды**¹ происходит изотермически (при постоянной температуре), затем температура газа возрастает. Сжатие продолжается до тех пор, пока возрастающие силы давления, зависящие от температуры и плотности, не уравновесят силы гравитации. В этом случае возникает состояние **гидростатического равновесия**. Первый этап эволюции звезды зависит от её массы и может длиться от нескольких сотен тысяч до нескольких сотен миллионов лет.

Если в центре протозвезды температура превысит несколько миллионов кельвинов, а давление — несколько миллиардов атмосфер (что самопроизвольно может произойти только с объектом массой не менее 0,01 массы Солнца), в недрах звезды начнутся реакции термоядерного синтеза. Тогда звезду уже можно считать **нормальной звездой**. Этот этап самый длительный, хотя и его длительность зависит от массы звезды: он может длиться от 10 млн до 10 млрд лет. Маломассивные звёзды, например звёзды с массой 0,1 массы Солнца, — долгожители. Они могут оставаться в состоянии равновесия на стадии нормальной звезды сотни миллиардов лет. В ядрах звёзд идёт превращение водорода в гелий и более тяжёлые элементы (вплоть до железа в массивных звёздах). Когда «горючее» (например, водород) звезды заканчивается, наступают последние стадии эволюции звезды, которые можно сравнить со старением и смертью.

Если масса звезды сравнима с массой Солнца, то по мере выгорания водорода центральные области звезды сжимаются, формируя горячее плотное ядро (средняя плотность около 10^9 кг/м³). Оболочка звезды при этом раздувается, и в течение сотен тысяч лет со стороны такая звезда будет выглядеть красным гигантом размером с орбиту Юпитера. Потом оболочка будет сброшена и маленький, размером с Землю, **белый карлик** будет медленно остывать в течение 10^{12} лет. Такая судьба ожидает наше Солнце.

Если масса звезды не превышает пяти масс Солнца, то она также сначала превратится в красный гигант размером в несколько десятков радиусов Солнца, а затем сбросит оболочку, которую можно будет наблюдать как планетарную туманность. Оставшаяся масса звезды (её центральные зоны) превратится в белый карлик, который будет светить за счёт накопленного тепла, остынет и в конце концов превратится в тёмный, так называемый *коричневый карлик*.

Массивные звёзды на последней стадии своей эволюции становятся экзотическими объектами — **нейтронными звёздами** или **чёрными**

¹ От греч. *protos* — первый, условное название тел, из которых формируются звёзды.

дырами. Звёзды массой более пяти масс Солнца сначала превращаются в красные сверхгиганты с радиусом в сотни радиусов Солнца, а затем взрываются. Наблюдается так называемая вспышка **сверхновой звезды**. Звезда начинает светиться как миллиарды отдельных звёзд (рис. 98). Повышенная яркость наблюдается десятки дней. При этом температура плазмы звезды при такой вспышке достигает миллиарда кельвинов. В этом котле синтезируются все химические элементы тяжелее железа. Большая часть вещества звезды разбрасывается в межзвёздное пространство, обогащая его тяжёлыми химическими элементами. Из обогащённой межзвёздной среды образуются звёзды следующих поколений. На месте взрыва может остаться либо нейтронная звезда, если масса остатка не превышает 2,5 массы Солнца, либо чёрная дыра, если масса превышает это значение.



Рис. 98
Крбовидная туманность — остаток вспышки сверхновой звезды

ОБРАЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ. По современным представлениям рождение Солнца и рождение планет — это единый процесс. Все объекты Солнечной системы сформировались из газопылевой туманности в результате гравитационной неустойчивости. По одной из гипотез, сжатие этой туманности было стимулировано ударными волнами, возникшими в результате взрыва сверхновой звезды, произошедшего вблизи Солнечной системы. Сжатие центральной части облака привело к образованию Солнца, а на периферии вращающегося и становящегося из-за этого всё более плоским облака начали формироваться планеты. При этом строительным материалом для планет служили относительно небольшие твёрдые куски вещества. Сталкиваясь, многие из них слипались, увеличиваясь в размерах, или разрушались. Крупные куски притягивали к себе мелкие. В результате примерно за 100 млн лет вокруг Солнца образовались и Земля, и другие планеты, а также их спутники, астероиды, кометы.

Астрономы обнаружили десятки других планетных систем. Не все они похожи на нашу Солнечную систему. У большинства обнаруженных планетных систем большие планеты с массой, как у Юпитера, находятся по непонятным пока причинам вблизи центральной звезды, а не на периферии.

Основными процессами, связанными с эволюцией галактик, звёзд, планетных систем, управляет гравитация. Сжатие объектов прекращается, когда уравновешиваются силы гравитации и давления. В недрах нормальной звезды идут реакции термоядерного синтеза. Конечными стадиями эволюции звёзд в зависимости от их массы могут стать белые карлики, нейтронные звёзды или чёрные дыры.

**В новый
портфель**

??

- ▷ К каким последствиям может привести ситуация гравитационной неустойчивости массивных газовых облаков?
- ▷ При каких условиях прекращается сжатие протозвезды?
- ▷ Что такое нормальная звезда?
- ▶ Может ли стать звездой Юпитер, если его масса в тысячу раз меньше массы Солнца?
- ▶ Составьте схему, иллюстрирующую эволюцию звёзд от стадии протозвезды до чёрной дыры.

74 ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЁЗД И СИНТЕЗ ТЯЖЁЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Урок-практикум

В каждой естественной науке заключено столько истины, сколько в ней есть математики.

И. Кант

?

Как связаны масса, мощность излучения звезды и время её жизни? Какие процессы происходят в недрах звёзд и какова их роль в эволюции Вселенной?

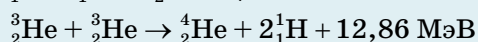
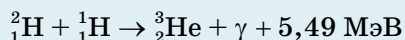
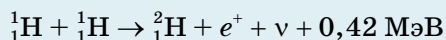
Из старого портфеля

Состав атомного ядра. Энергия связи атомных ядер. Ядерные реакции. Источники энергии звёзд (Физика, 8—9 кл.).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Ознакомиться с процессами, происходящими на звёздах, и их ролью в эволюции Вселенной. Выяснить, как связана масса звезды с временем её жизни.

ПЛАН РАБОТЫ. Выполнить задания. По результатам работы сделать выводы о значении процессов, происходящих в недрах звёзд, в эволюции Вселенной.

1. В предыдущем параграфе говорилось об этапе эволюции звёзд, в течение которого звезда считается нормальной звездой. Этот этап характеризуется тем, что в недрах звезды происходит превращение протонов в ядра гелия. Как и многие химические реакции, эта ядерная реакция представляет собой цепочку реакций



В этих формулах символами ν , e^+ и γ обозначены нейтрино, позитрон (античастица по отношению к электрону) и гамма-квант (фотон большой энергии). Энергия, выделяющаяся при реакциях, выражена в мегаэлектронвольтах (МэВ). Напомним, что $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$.

Объясните, почему в первой из этих реакций выделяется меньше энергии, чем в двух последующих.

ПОДСКАЗКА

Вспомните, что говорилось о фундаментальных взаимодействиях в микромире.

2. Энергия порядка нескольких мегаэлектронвольт очень мала. Однако именно такая энергия выделяется при синтезе одного ядра гелия. Рассчитайте, сколько энергии выделяется при превращении в гелий одного грамма водорода, и оцените, сколько бензина нужно сжечь для получения такой же энергии. При сжигании 1 кг бензина выделяется $4,6 \cdot 10^7 \text{ Дж}$.

ПОДСКАЗКА

В цепочке приведённых реакций четыре протона превращаются в одно ядро гелия. В 1 г водорода приблизительно 1 моль атомарного водорода, т. е. $6 \cdot 10^{23}$ протонов.

3. Время жизни звезды ограничено запасом ядерного горючего, т. е. её массой. Тем не менее более массивная звезда живёт меньше. Предложите гипотезу, которая может это объяснить.

ПОДСКАЗКА

Масса звезды связана с энергией излучения. Вспомните о такой характеристике, как мощность излучения.

4. Астрономические исследования показывают, что для большинства звёзд мощность излучения звезды (астрономы называют её *светимостью* и обозначают через L) приблизительно пропорциональна четвёртой степени её массы M , т. е. $L = CM^4$, где C — некоторая константа. Оцените, какой степени массы пропорционально время жизни звезды.

ПОДСКАЗКА

Для оценки примите самую простую модель, согласно которой мощность звезды не изменяется со временем. Далее основывайтесь на энергетических соображениях.

5. Время жизни звезды типа Солнца порядка 10 млрд лет. Оцените, сколько времени живут звёзды в 10 раз большей массы и в 10 раз меньшей массы.

6. Уменьшение количества водорода в ядре звезды способствует сжатию звезды гравитационными силами. Возникают условия для превращения ядер гелия в ядра более тяжёлых элементов. Постепенно образуются всё более тяжёлые ядра. Гипотезы эволюции Вселенной говорят о том, что все тяжёлые ядра, в том числе и те, которые входят в состав нашего организма, образовались на звёздах. Объясните, почему железо является одним из самых распространённых элементов в составе Земли.

ПОДСКАЗКА

Вспомните об удельной энергии связи (см. рис. 27).

Дополнительные источники информации

1. Засов А. В. Астрономия / А. В. Засов, Э. В. Кононович. — М.: Физматлит, 2011.
2. Томилин А. Н. Тайны рождения звёзд и планет / А. Н. Томилин. — М.: Просвещение, 2008.

Слова для поискового запроса: термоядерный синтез в недрах звёзд, образование звёзд, природа звёзд.

В недрах звёзд происходят реакции термоядерного синтеза с выделением энергии, во много раз превышающей энергию химических реакций. В процессе термоядерных реакций образовались все тяжёлые элементы, существующие в природе. Мощность излучения звёзд возрастает с их массой, в результате чего время жизни более массивных звёзд меньше, чем менее массивных.

**В новый
портфель**

Я — сын Земли, дитя планеты малой,
Затерянной в пространстве мировом...

В. Брюсов

?

Каково строение Земли? Почему недра Земли разогреты и плотные? Как возникли на Земле гидросфера и атмосфера?

Ключевые
слова

Гравитационная дифференциация • Распад радиоактивных изотопов • Первичная атмосфера • Вторичная атмосфера • Современная атмосфера

Из старого
портфеля

Земля как планета. Возникновение и геологическая история Земли. Земная кора — верхняя часть литосферы. Земная поверхность: формы рельефа суши, дна Мирового океана, их изменение под влиянием внутренних, внешних и техногенных процессов. Гидросфера, её состав и строение. Атмосфера, её состав и строение (География, 5—6 кл.).

ВОЗРАСТ И СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ. Возраст Земли согласно данным, полученным методами радиоактивного анализа, составляет $4,55 \pm 0,07$ млрд лет. В процессе формирования Земля разогревалась, в результате чего появлялись расплавленные породы. При этом более тяжёлые породы, содержащие железо и никель, осаждались в центральной области Земли, а более лёгкие (силикаты) всплывали к поверхности. Так происходила **гравитационная дифференциация** вещества Земли. Этот процесс (хотя и не так интенсивно), продолжающийся и в наше время, служит одним из источников тепла в недрах Земли. Другим важным внутренним источником является **распад радиоактивных изотопов** — урана (U), тория (Th) и калия (K). В настоящее время все внутренние источники Земли выделяют намного меньшую энергию, чем та, которая приходит от Солнца, но тем не менее именно они определяют такие процессы, как вулканизм и движение литосферных плит.

По современным представлениям в центре Земли (во внутреннем ядре) сконцентрировались железо и никель. Температура ядра достигает 6000°C . Внешнее ядро жидкое и менее плотное. Температура мантии достигает 2000°C . При таких высоких температурах вещество мантии должно находиться в расплавленном состоянии, но из-за огромного давления (на границе с ядром до 130 ГПа) оно обладает свойствами и твёрдого тела, и жидкости. Земная кора на 80 % сложена из пород, содержащих кислород, кремний и алюминий, 18 % приходится на железо, магний, кальций, натрий и калий. Различают континентальную (материковую) кору толщиной 30—40 км, а под горами — до 70 км и океаническую кору, толщина которой 6—8 км (рис. 99).

Внутренние области Земли исследуют исключительно методами сейсмологии, анализируя прохождение через них волн, вызванных либо естественными землетрясениями, либо искусственными, возникающими при подрыве на поверхности Земли небольших зарядов.

Внешние области — это литосфера, атмосфера и гидросфера. Эти оболочки не являются неизменными. Так, литосфера состоит из ли-

тосферных плит, которые движутся друг относительно друга со скоростью от 0,5 до 10 см в год. Эти движения, незаметные для глаза, постепенно меняют рельеф Земли.

ЭВОЛЮЦИЯ ГИДРОСФЕРЫ И АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ.

Гидросфера, водная оболочка Земли, сформировалась за счёт выхода воды из внутренних областей Земли, уже имеющей атмосферу. Когда появились первые моря и океаны, точно неизвестно. Но уже 3,8—3,9 млрд лет тому назад вода в жидком виде присутствовала на Земле в значительном количестве. В настоящее время Мировой океан покрывает более 70 % поверхности Земли. Общее количество свободной воды составляет $1,6 \cdot 10^8$ т. Считается, что из внутренних областей Земли вышло от 50 до 70 % содержащейся там воды. Этот процесс будет продолжаться ещё достаточно долго.

В истории Земли выявлено три типа атмосфер. **Первичная атмосфера** состояла, по-видимому, из водорода и гелия, которые достаточно быстро оторвались от Земли и рассеялись. **Вторичная атмосфера** была сформирована благодаря выбросам вулканических газов и состояла из углекислого газа, аммиака, метана, а также из оксидов азота, серы и др. Наконец, **современная атмосфера**, содержащая свободный кислород, начала формироваться около 2 млрд лет тому назад с появлением на Земле фотосинтезирующих организмов. Современная атмосфера Земли содержит 78 % азота, 21 % кислорода, около 1 % аргона и сотые доли процента других газов, среди которых — углекислый газ, неон и др.

Одним из основных процессов, определивших эволюцию Земли как планеты, является гравитационная дифференциация вещества. Источниками внутреннего тепла Земли являются гравитационная дифференциация и энергия, выделяющаяся при распаде радиоактивных элементов. Атмосфера Земли не была неизменной. Первичная атмосфера состояла из водорода и гелия, захваченных из межпланетного пространства, вторичная — результат активной вулканической деятельности. На современную атмосферу оказала воздействие и биосфера Земли.

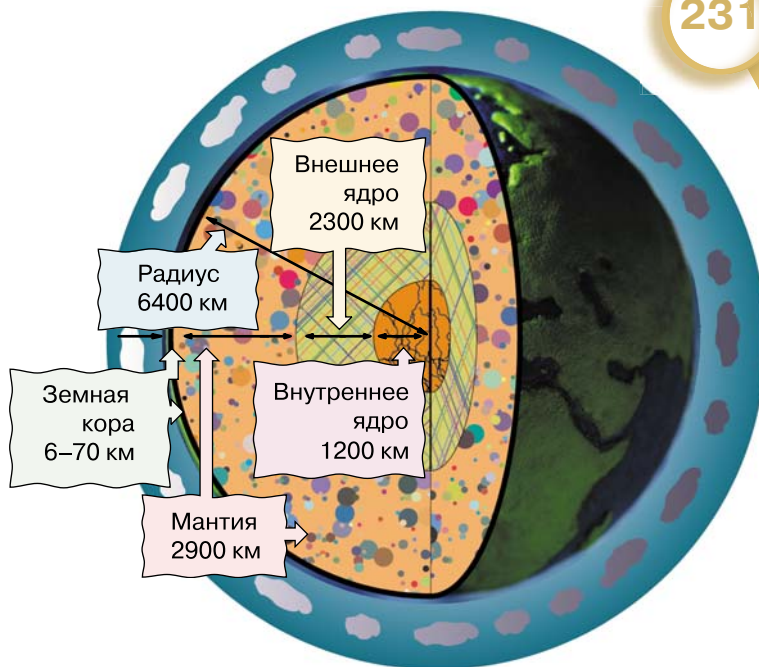


Рис. 99
Строение Земли

В новый
портфель

??

- ▷ Почему внутренние области (ядро и мантия) Земли разогреты?
- ▶ Как вы думаете, какой физический закон лежит в основе гравитационной дифференциации недр Земли?
- ▶ На каких планетах атмосфера по химическому составу похожа на вторичную атмосферу Земли?
- ▶ Оцените по глобусу или географической карте расстояние между Африкой и Южной Америкой. Рассчитайте, сколько лет прошло с тех пор, как они перестали быть единым материком, если скорость дрейфа составила 1 см/год.

76 ПРИНЦИПЫ ЭВОЛЮЦИИ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

Урок-лекция

Эволюция... основное условие, которому должны отныне подчиняться и удовлетворять все теории, гипотезы, системы, если они хотят быть разумными и истинными.

П. Тейяр де Шарден

?

Как развивались эволюционные идеи до Чарлза Дарвина? В чём состоит суть учения Дарвина? Какие существуют доказательства эволюции живых существ? Как исследуют эволюционный процесс?

Ключевые
слова

Креационизм • Естественный отбор • Адаптация • Искусственный отбор • Палеонтология • Биogeография • Сравнительная анатомия • Рудиментарный орган • Атавизм • Эмбриология • Молекулярная биология

Из старого
портфеля

Эволюционное учение. Методы молекулярной биологии (Биология, 9 кл.). Изменчивость. Популяции. Эмбриональное развитие организмов (см. § 29, 34, 71; Биология, 9 кл.).

Процессы становления и развития жизни на Земле невозможно понять без знания основных принципов *эволюции*, т. е. необратимого процесса исторического изменения живого. Широкое внедрение представлений об эволюции органического мира в XIX в. наряду с открытием законов термодинамики послужило мощным толчком для перехода от механистической картины мира к эволюционной.

ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДО ДАРВИНА. Идеи единства и развития живой природы прослеживаются уже в трудах древних мыслителей Индии, Китая, Месопотамии, Египта и Греции. Эти идеи получили второе рождение по окончании Средневековья, в эпоху Возрождения, и особенно распространились в XVII—XVIII вв. и первой половине XIX в., когда происходило интенсивное накопление натуралистами фактического материала. Идеи эволюционизма высказывались многими учёными, но они ещё не сложились в цельное учение об эволюции.

Доминирующие же взгляды в то время опирались на два тезиса: природа абсолютно неизменна и всякий организм изначально целесообразен (иными словами, кошки сотворены для поедания мышей, а мыши — для того, чтобы быть съеденными кошками). Принятие этих тезисов с неизбежностью приводило к признанию «творца всего сущего». Отсюда и название всех течений такого рода — **креационизм** (от лат. *creatio* — сотворение). Выразителем подобных идей был и отец систематики Карл Линней, который считал, что «видов столько, сколько различных форм сотворила предвечная сущность».

Честь создания первого эволюционного учения принадлежит Жану-Батисту Ламарку (1744—1829). По его мнению, эволюция — результат внутреннего стремления организмов к совершенству, которое заложено Творцом. Виды же согласно Ламарку образуются путём приспособления к внешним условиям. Эти приспособления всегда целесообразны и наследуемы. Например, длинные ноги болотных птиц Ламарк объяснял их стремлением не окунать тело в воду. Птицы прикладывали усилия для

удлинения ног, и в результате длительной привычки («упражнения органов», по Ламарку) их ноги от поколения к поколению постепенно удлинялись. Фактического подтверждения эти взгляды не имели, и представления Ламарка об эволюции не получили широкого распространения среди современников.

КЛАССИЧЕСКИЙ ДАРВИНИЗМ. Основная заслуга Чарлза Дарвина заключается в том, что он впервые вскрыл механизм эволюции, объяснив процесс образования новых видов.

Дарвин обратил внимание на то, что каждый вид потенциально способен производить намного больше особей, чем доживает до взрослого состояния. Выживает только небольшая часть, остальные же гибнут в *борьбе за существование*. Это первый важный вывод. Далее Дарвин отметил известный факт, что среди всех растительных и животных организмов наблюдается *изменчивость* признаков, даже в потомстве одной пары родителей нет совершенно одинаковых особей.

Изменчивость может быть наследственной и ненаследственной. Только наследственная изменчивость имеет значение для эволюции. По современным представлениям в этом случае изменения затрагивают генотип особи, а потому признак может передаваться потомству. Ненаследственная же изменчивость — это один из вариантов проявления признака в пределах одного генотипа. Например, при абсолютно одинаковом генотипе растения могут образовывать широкие листья, если они развиваются в тени, или же узкие — при хорошей освещённости.

Сопоставив изменчивость и борьбу за существование, Дарвин сделал важнейший вывод: в природе идёт избирательное уничтожение одних особей и размножение других. Это и есть **естественный отбор**. В борьбе за существование даже ничтожные отличия могут давать особи преимущества. Такие особи выживают и размножаются, причём тот признак, который дал им преимущество в борьбе за существование, наследуется их потомками. В результате число особей, обладающих признаком, благоприятным в конкретных условиях, становится всё больше и больше и они на определённой территории полностью вытесняют остальных особей этого вида. Формируется группа особей, обладающих новым приспособлением — **адаптацией** к существованию в данных условиях. На основе такой группы в дальнейшем может появиться новый вид.

Суть эволюционной теории Дарвина заключается в том, что исходный материал для эволюции составляет наследственная изменчивость, а естественный отбор выбраковывает менее приспособленные к данным условиям обитания варианты и оставляет наиболее приспособленные. Следовательно, отбору принадлежит движущая роль в процессе эволюции.

Следует помнить, что приспособление никогда не бывает окончательным и универсальным. Например, белая окраска зайца-беляка выручает его зимой, но весной и осенью, наоборот, делает его заметным для хищника. В процессе эволюции происходит «шлифовка» адаптаций, их всё более точная подгонка под определённые условия существования. Но и условия эти непостоянны, и их изменение даёт толчок для закрепления отбором новых признаков. Поэтому процесс эволюции не останавливается, свидетельством чему служит многообразие живых существ, которые населяли и ныне населяют нашу планету.

Одно из доказательств реальности существования отбора Дарвин усматривал в происхождении пород домашних животных и сортов растений. При их выведении человек сознательно или бессознательно оставлял для размножения особи, у которых в наибольшей степени был выражен полезный признак. Иными словами, он проводил **искусственный**



Джордж Ричмонд.
Ч. Дарвин

В новый
портфель

отбор, в результате которого и были выведены породы и сорта с полезными для человека свойствами. Эти свойства для самих растений или животных могут быть вредными. При естественном же отборе отбираются только те признаки, которые повышают шанс оставить потомство.

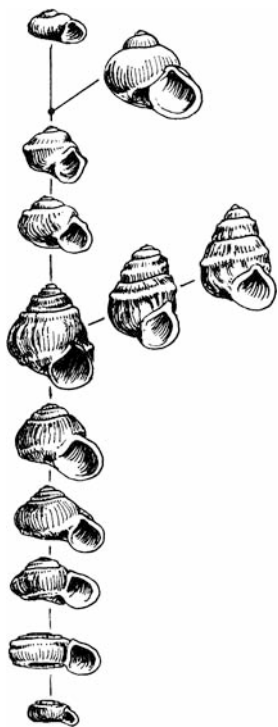


Рис. 100
Последовательность изменения ископаемых форм моллюска рода Гираулюс

ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ЭВОЛЮЦИИ И МЕТОДЫ ЕЁ ИЗУЧЕНИЯ.

Мы уже неоднократно подчёркивали, что молекулярная организация живого едина. Способы хранения, передачи и реализации генетической информации, механизмы пластического и энергетического обмена, фотосинтеза, а также ферменты, обеспечивающие эти процессы, сходны у всех групп живых организмов, что свидетельствует о единстве происхождения жизни.

Палеонтология — наука об ископаемых организмах — фактически непосредственно исследует процесс эволюции. Изучая распределения остатков живых организмов (окаменелостей, отпечатков) в горных породах, можно получить объективную информацию о жизни в далёкие геологические времена. При этом прослеживается отчётливая закономерность: строение живых существ усложняется по мере перехода от древних земных слоёв к новым.

Анализируя ископаемые организмы из следующих друг за другом слоёв, можно получить истинную последовательность возникновения и изменения форм в эволюции (рис. 100).

Биогеография — наука, изучающая закономерности распространения и распределения живых существ на Земле, — позволяет анализировать ход эволюционного процесса в разных масштабах. Зная время обособления тех или иных участков суши, морей и островов, можно сопоставить изменения флоры и фауны, которые произошли в разделённых преградой районах. Например, фауна Северной Евразии и Северной Америки сходна, поскольку ещё относительно недавно оба континента соединялись Берингийским мостом, а разъединивший их Берингов пролив появился всего лишь около 1 млн лет назад. Иное дело — Австралия, которая более 120 млн лет не соединялась с другими материками. За это время здесь самостоятельно развилась фауна сумчатых и яйцекладущих млекопитающих.

Сравнительная анатомия позволяет путём изучения сходства в строении организмов выявить родство сравниваемых форм. Например, различные по внешнему виду и функциям конечности млекопитающих состоят из сходных элементов: лопатки, костей плеча, предплечья, запястья, пясти и фаланг пальцев. Сопоставление сходных органов родственных групп позволяет определить последовательность эволюционных преобразований.

Так, в ряду тапир—лошадь прослеживается редукция (уменьшение) числа пальцев, что связано со сменой местообитания и образа жизни животных (рис. 101). Тапир обитает во влажных тропических лесах, а лошадь — на открытых пространствах. Для быстрого бега, обеспечивающего спасение от хищников на открытой местности, наиболее выгодна опора на один палец, так как она обеспечивает быстрое отталкивание.

Доказательством эволюции служат и обнаруживаемые у живых организмов **рудиментарные органы**. У китообразных, например, в скелете сохраняются небольшие тазовые косточки. Это подтверждает происхождение китов от наземных млекопитающих с развитыми задними конечностями. У человека примерами рудиментарных образований могут служить ушные мышцы, аппендикс, зубы мудрости. Иногда наблюдаются случаи возврата к признакам предков — **атавизмы**. У человека атавизмами являются хвост, мощный волосяной покров на поверхности тела и др.

Эмбриология — наука, изучающая зародышевое развитие организмов, — располагает целым арсеналом методов для изучения эволюции

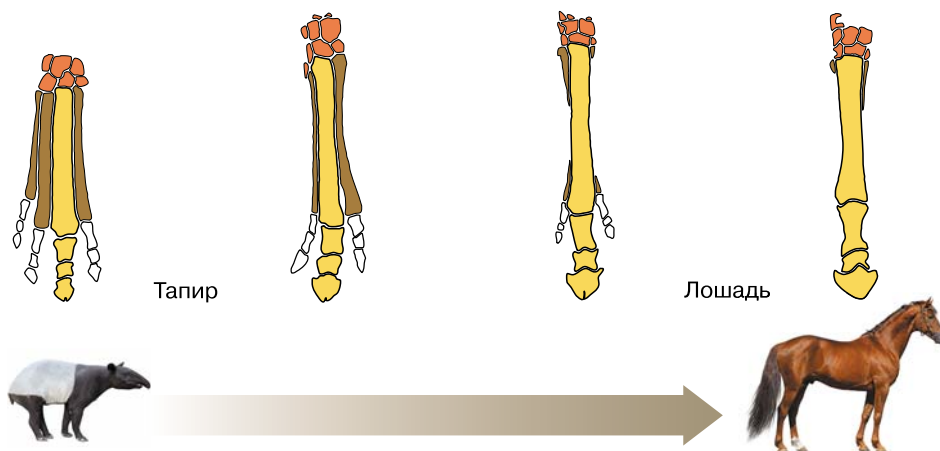


Рис. 101
Сравнительно-анатомический ряд передних конечностей

онного процесса. Сравнительный анализ ранних этапов онтогенеза позвоночных показал, что эмбрионы рыб, амфибий, рептилий, птиц и млекопитающих вначале сходны, затем появляются признаки, характерные для рыб и амфибий, ещё позже — особенности рептилий, птиц и млекопитающих.

Таким образом, в ходе развития зародыша повторяются определённые черты развития предковых форм, при этом на ранних этапах это признаки далёких предков (менее родственные формы), а на поздних — близких.

Один из широко распространённых методов **молекулярной биологии** основывается на анализе замен нуклеотидов в определённом участке генома. Для анализа родства между организмами сравнивают одинаковые участки их ДНК. Чем больше различий в последовательности нуклеотидов, тем дальше отстоят друг от друга сравниваемые организмы. Полученные данные обрабатывают при помощи специальных компьютерных программ, которые позволяют реконструировать пути эволюции исследуемой группы живых существ.

Основатель эмбриологии Карл Бэр (1792—1876) писал: «Зародыши млекопитающих, птиц, ящериц и змей в высшей степени сходны между собой на самых ранних стадиях как в целом, так и по способу развития отдельных частей. У меня в спирту сохраняются два маленьких зародыша, которые я забыл пометить, и теперь я совершенно не в состоянии сказать, к какому классу они принадлежат. Может быть, это ящерицы, может быть — маленькие птицы, а может быть — и очень маленькие млекопитающие, до того велико сходство в устройстве головы и туловища у этих животных. Конечностей, впрочем, у этих зародышей ещё нет. Но если бы даже они и были на самых ранних стадиях своего развития, то и тогда мы ничего не узнали бы, потому что ноги ящериц и млекопитающих, крылья и ноги птиц, а также руки и ноги человека развиваются из одной и той же основной формы».

Многочисленные данные однозначно свидетельствуют о единстве происхождения всех населяющих Землю живых существ и подтверждают факт их эволюции. Использование методов палеонтологии, биогеографии, сравнительной анатомии, эмбриологии и молекулярной биологии позволяет определить родственные связи между живыми организмами и исследовать особенности протекания эволюционного процесса.

**В новый
портфель**

??

- ▷ Какая форма изменчивости наиболее важна для эволюции?
- ▷ Объясните механизм действия естественного отбора.
- ▷ Какими доказательствами эволюции располагает современная наука?
- ▷ В чём отличие естественного отбора от искусственного?

77 СОВРЕМЕННЫЕ КОНЦЕПЦИИ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ

Урок-лекция

Ни одно явление в биологии не имеет смысла, если не рассматривать его в свете эволюции.

Ф. Г. Добржанский

?

Как происходит видообразование согласно синтетической теории эволюции? Что называют микроэволюцией и макроэволюцией? Каковы основные направления эволюции? Что такое биологический прогресс? Каковы современные проблемы теории эволюции?

Ключевые
слова

Синтетическая теория эволюции • Мутация • Изоляция • Репродуктивная изоляция • Микроэволюция • Макроэволюция • Аллогенез • Арогенез • Биологический прогресс • Биологический регресс

Из старого
портфеля

Эволюция. Классический дарвинизм. Комбинативная изменчивость (см. § 70, 76). Строение ДНК. Гены. Генофонд (см. § 30). Генетика (Биология, 9 кл.). Возникновение полового размножения (см. § 70).

СИНТЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ЭВОЛЮЦИИ. Во времена Ч. Дарвина механизм наследственности ещё не был известен. Сам Дарвин полагал, что наследственные признаки родителей смешиваются. Дальнейший прогресс в теории эволюции во многом связан с успехами *генетики* — науки о наследственности и изменчивости живых организмов, основы которой были заложены австрийским естествоиспытателем Грегором Менделем (1822—1884). Синтез достижений этой новой науки с постулатами классического дарвинизма, а также с новыми палеонтологическими, эмбриологическими и другими данными привёл в XX в. к формированию **синтетической теории эволюции (СТЭ)**.

В рамках СТЭ основное внимание уделяется процессам, протекающим в популяциях и приводящим к видообразованию. Материалом для эволюции служат **мутации** — наследуемые изменения генетического материала, приводящие к изменению тех или иных признаков организма. По сути, это наследственная изменчивость Дарвина. Мутации носят случайный характер и чаще всего связаны с заменой одного или нескольких нуклеотидов в участке ДНК, представляющем тот или иной ген. Однако может происходить перестройка и целых участков хромосом, т. е. наблюдается и комбинативная наследственная изменчивость.

Естественный отбор действует на особь, но время жизни особи ограничено, и вместе с ней исчезает и её генотип. Однако возникшая у особи мутация может передаваться её потомкам и таким образом распространяться в популяции. Между популяциями одного вида происходит обмен генами, поэтому можно говорить об общем генофонде вида. Как же тогда появляются новые виды?

Чтобы произошло видообразование, необходима **изоляция** между разными частями видового населения. Например, возник какой-то барьер (водная преграда, горный хребет и т. п.), который изолировал часть популяций от остальных популяций своего вида. В этих двух частях появляются разные мутации, которые закрепляются или, на-

оборот, выбраковываются естественным отбором. В результате генетические различия между двумя изолированными частями прежде единого вида могут достичь такого уровня, что при последующих встречах особи из этих двух частей не смогут скрещиваться между собой, т. е. возникнет **репродуктивная изоляция**. Следовательно, произошло видообразование — исходный вид разделился на два новых вида.

Синтетическая теория эволюции (СТЭ) представляет собой развитие идей классического дарвинизма на основе современных данных. Процессы видообразования согласно СТЭ происходят на уровне популяций, притом главным критерием обособления нового вида служит его репродуктивная изоляция.

В новый
портфель

Эволюционные события, которые происходят в популяциях и приводят в конце концов к появлению новых видов, получили название **микроэволюции**. Все эволюционные изменения на уровне выше вида обозначают как **макроэволюцию**. Предполагается, что в протекании микро- и макроэволюционных процессов принципиальной разницы нет: один вид даёт начало двум дочерним видам; те, в свою очередь, дают ещё несколько дочерних видов и т. д. Виды, близкие по многим существенным признакам, объединяют в роды, роды — в семейства и т. д. Иерархическая структура этих таксонов указывает на степень их родства, поскольку объединение видов в таксон более высокого ранга свидетельствует о наличии у них общего предка. Чем дальше от современности момент расхождения родственных форм, тем выше должен быть ранг таксономической группы, в рамках которой они объединяются.

НАПРАВЛЕНИЯ ЭВОЛЮЦИИ. Выдающаяся заслуга в определении основных направлений эволюции принадлежит русским учёным Алексею Николаевичу Северцову и Ивану Ивановичу Шмальгаузену, работавшим в первой половине XX в. Изучение особенностей эволюции различных групп организмов позволило выявить два главных *направления эволюции* — аллогенез и арогенез (рис. 102).

Аллогенезом называют развитие группы в границах возможных для её существования экологических условий, которые не приводят к повышению общего уровня организации. Это эволюционное направление прослеживается в любой группе живых существ и позволяет им полнее освоить конкретную среду обитания. К примерам аллогенеза можно отнести разные случаи защитной окраски, многочисленные приспособления растений к опылению насекомыми и т. д.

Арогенез связан с выходом группы в другие природные зоны и приобретением каких-то крупных, ранее отсутствовавших приспособлений. Такие принципиальные адаптации, благодаря которым группа становится на путь арогенеза, Северцов предложил именовать *ароморфозами*. Крупнейшими ароморфозами в истории Земли были появление фотосинтеза, что дало начало всем растительным организмам и привело к кардинальным преобразованиям биосферы, возникновение полового процесса, резко увеличившего изменчивость организмов, а также формирование многоклеточных организмов с дифференцированными тканями.

Арогенез может быть и менее масштабным. Пример — возникновение и расцвет класса птиц. Освоить новую среду обитания предки современных птиц смогли благодаря таким

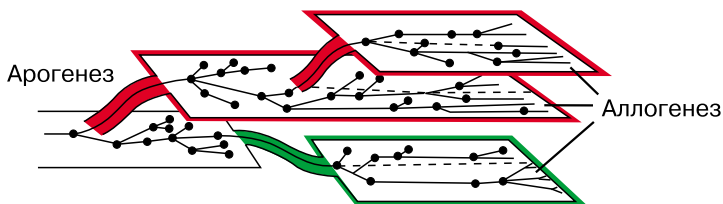


Рис. 102

Схема развития группы в направлении аллогенеза и арогенеза

ароморфозам, как развитие органа полёта — крыла, четырёхкамерного сердца, теплокровности и отделов мозга, управляющих полётом. Приспособления же современных болотных, морских, лесных и других птиц к характерным для них экологическим условиям носят уже менее масштабный характер, и эволюция внутри класса птиц может быть классифицирована как аллогенез.

Арогенез не всегда приводит к усложнению строения и функционирования организмов. Иногда захват новой среды обитания сопровождается упрощением организации, или *дегенерацией*. Например, переход к паразитическому образу жизни у многих многоклеточных организмов связан с резким упрощением строения вплоть до потери некоторых систем органов — пищеварительной, кровеносной, органов чувств.

Эволюционный процесс может приводить к **биологическому прогрессу**, который проявляется в стремлении живых организмов к увеличению видового многообразия, нарастанию численности особей в популяциях и более широкому распространению. Биологический прогресс может быть достигнут как в ходе аллогенеза, так и в ходе арогенеза. Например, в состоянии биологического прогресса находится класс круглых червей — нематод. Многочисленные виды нематод заселили почву, моря, пресные водоёмы, среди них немало и паразитов. К биологическому прогрессу может приводить и дегенерация, примером чего служат многочисленные процветающие виды паразитов.

Противоположное биологическому прогрессу явление — **биологический регресс** — ведёт к понижению численности популяций и числа самих популяций, сокращению видовых ареалов, уменьшению числа видов. В конечном итоге вид или более крупная таксономическая единица вымирает.

В новый портфель

В эволюции живых существ чередуются арогенез и аллогенез. Благодаря первому становится возможным освоение новых природных зон, а второй обеспечивает адаптацию к многообразию экологических условий в пределах одной зоны. Оба этих направления могут приводить к биологическому прогрессу вида или таксона надвидового уровня.

НОВЫЕ ИДЕИ В ЭВОЛЮЦИОННОЙ ТЕОРИИ. Бурное развитие биологии в конце XX в., продолжающееся и поныне, привело к появлению новых эволюционных концепций. В целом они не опровергают основных постулатов СТЭ, но существенно их уточняют и дополняют.

Во-первых, было установлено, что далеко не все мутации проявляются в фенотипе. Такие мутации не подвержены действию естественного отбора, и их накопление зависит от случайного сочетания факторов — это так называемые *нейтральные мутации*. В соответствии с СТЭ эволюция идёт путём постепенного накопления отдельных небольших мутаций. В то же время некоторые палеонтологические данные свидетельствуют о том, что вид может длительное время оставаться неизменным, а затем за короткое время (конечно, в геологическом масштабе времени) проявлять изменчивость и давать начало дочерним видам. Подобные резкие изменения могут происходить в результате так называемых *макромутаций*, которые затрагивают существенную часть генома. Предлагаются различные механизмы макромутаций.

В новый портфель

Современные данные не опровергают основных постулатов дарвинизма и СТЭ. Эволюционная теория активно развивается и позволяет нам глубже проникнуть в тайну тех процессов, которые определили появление и развитие жизни на нашей планете.

- ▷ Как идёт видообразование в соответствии с постулатами синтетической теории эволюции?
- ▷ В чём состоит отличие арогенеза от аллогенеза?
- ▷ Каковы признаки биологического прогресса вида или группы видов?
- ▷ Какие мутации не подвержены естественному отбору?
- ▶ На основании материала параграфа составьте схему «Последовательность событий при видообразовании согласно СТЭ».

78 ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

Урок-лекция

Земная жизнь в безбрежном лоне вод
Среди пещер жемчужных океана
Возникла, получила свой исход,
Росла и стала развиваться рано:
Сперва в мельчайших формах всё росло,
Невидимых и в толстое стекло.

Э. Дарвин



Какие существуют гипотезы о происхождении жизни? Каков возможный сценарий развития жизни в рамках концепции «мира РНК»? Когда появились прокариоты и эукариоты? Каковы основные этапы становления клетки эукариот?

Абиогенез • Панспермия • Протобионты • Цианобактерии

Ключевые слова

Полипептиды. Нуклеиновые кислоты. Прокариоты и эукариоты. Митохондрии. Пиноцитоз и фагоцитоз. Пластиды. Метаболизм. Фотосинтез (см. § 30, 32, 33, 38). Геохронологическая шкала (География, 8 кл.; Биология, 9 кл.). Симбиоз (Биология, 9 кл.). Биосфера (см. § 29).

Из старого портфеля

ГИПОТЕЗЫ О ПРОИСХОЖДЕНИИ ЖИЗНИ. В рамках естественно-научного подхода существуют две точки зрения на происхождение жизни на Земле — **абиогенез** и **панспермия**. Согласно первой жизнь зародилась на определённых этапах эволюции нашей планеты из неживого и развивалась в дальнейшем на ней же. Вторая точка зрения предполагает заселение Земли некими «спорами жизни», т. е. привнесение из космического пространства (например, вместе с метеоритами) макромолекул биологического ряда либо спор микроорганизмов. Как и где развивалась жизнь, «споры» которой занесены на Землю, сторонники панспермии не объясняют. По мнению большинства учёных, это событие вполне могло произойти и на древней Земле.

ОТ ПЕРВЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ К «МИРУ РНК» И ПЕРВЫМ ЖИВЫМ СУЩЕСТВАМ. Условия для синтеза органических соединений из неорганических сформировались на древней Земле примерно 4,5—4,4 млрд лет назад, вскоре после её возникновения из пылевого облака. Поверхность планеты покрывали активно действующие вулканы и горячие водоёмы. Атмосфера того периода состояла из вулка-

нических газов и была насыщена парами воды. Жёсткое ультрафиолетовое излучение и грозовые разряды могли стать источниками энергии для синтеза органических веществ из простых неорганических соединений, что неоднократно подтверждалось в лабораторных условиях.

Среди образовавшихся органических молекул могли быть и полипептиды, и короткие нуклеиновые кислоты, т. е. два основных компонента современных живых систем. С какого же из этих соединений началось становление жизни?

Фундаментальное свойство живых организмов — передача потомкам информации о своей структуре и функциях — обеспечивается репликацией молекул ДНК, в которых такая информация записана в виде последовательности нуклеотидов (см. § 30). Способностью к репликации из всех известных биологических полимеров обладают только нуклеиновые кислоты. Однако их копирование (репликация ДНК, матричный синтез мРНК) невозможно без участия белков-ферментов. Получается замкнутый круг — белки не могут передать свои свойства потомкам без помощи нуклеиновых кислот, а нуклеиновые кислоты не способны к воспроизводству без белков-ферментов.

Проблема эта казалась неразрешимой, пока в 80-е гг. XX в. не было установлено, что некоторые типы РНК способны к саморепликации без участия белков-ферментов. Такие РНК вполне могли появиться в водоёмах древней Земли, что можно считать первым шагом на пути формирования живого из неживого. В процессе саморепликации древних РНК неизбежными были ошибки в копировании, так что вновь синтезируемая цепочка могла отличаться от материнской. В результате росло разнообразие молекул РНК и постепенно сформировался первый самодостаточный биологический мир — «мир РНК».

Молекулы РНК функционировали в этом мире и как генетический материал (передача свойств материнской цепи дочерним), и как катализаторы при собственном воспроизведении. На каком-то этапе эволюции функция носителя генетической информации перешла от РНК к ДНК. Двухцепочечная молекула ДНК более стабильна и в меньшей степени подвержена внешним воздействиям, чем одноцепочечная молекула РНК. Это гарантирует высокую сохранность записанной на ДНК информации.

Одним из ранних событий в эволюции живого было обособление либо самореплицирующейся РНК, либо уже сформированной белок-синтезирующей системы от внешней среды. Возможно, такие протоорганизмы, или **протобионты**, имели вид коацерватов, с которыми длительное время экспериментировал отечественный учёный Александр Иванович Опарин, работавший в середине XX в. *Коацерваты* — это капли, которые самопроизвольно образуются в смеси некоторых полимеров. От внешней среды они отделены плотным наружным слоем, который можно считать прообразом клеточной мембраны, а коацерват в целом — прообразом клеток живых организмов.

Приведённый сценарий развития событий, конечно, гипотетичен. Далеко не все описанные выше процессы объяснимы с точки зрения современной биохимии. Особенно уязвим момент перехода от РНК и её репликации к биосинтезу белка. Необходимо учитывать и тот факт, что палеонтологическая летопись не оставила нам никаких следов начальных этапов происхождения живого. Поэтому любой вариант, который учёные предлагают сейчас или предложат в будущем, всегда будет носить характер предположения, каким бы реальным он ни выглядел.

В новый портфель

Возможность образования органических соединений на древней Земле доказана экспериментально. Последующая эволюция жизни, скорее всего, связана с появлением самореплицирующихся РНК. Эволюция «мира РНК» привела к формированию процессов матричного синтеза белка и образованию первых примитивных организмов.

ЭВОЛЮЦИЯ ПРОКАРИОТ. Примерно 3,5 млрд лет тому назад на Земле уже существовали прокариоты. Именно таков возраст самых древних пород, в которых находят их ископаемые остатки. Бактерии безраздельно господствовали на протяжении значительной части архея (4,0—2,5 млрд лет назад) и протерозоя (2,5—0,6 млрд лет назад) и сформировали первую в истории Земли биосферу — прокариотную. Важнейшим её компонентом были **цианобактерии** — одни из наиболее сложно устроенных прокариот, обладающие способностью к фотосинтезу.

В ходе длительной эволюции прокариот шло становление различных биохимических механизмов усвоения и преобразования потребляемых клеткой химических соединений. Фактически все варианты пластического и энергетического обмена, включая аэробное расщепление органических соединений и фотосинтез, эволюционировали у прокариот. С появлением фотосинтеза в группе цианобактерий связано накопление в атмосфере кислорода, что повлекло за собой цепь событий, приведших в конечном итоге к коренным преобразованиям биосферы в конце протерозоя.

У древних прокариот интенсивно шла биохимическая эволюция, которая привела к выработке основных механизмов метаболизма и фотосинтеза. С появлением фотосинтезирующих цианобактерий началось накопление кислорода в атмосфере древней Земли.

В новый
портфель

ПОЯВЛЕНИЕ ЭУКАРИОТ. Первые ископаемые эукариоты датируются возрастом примерно в 1,8 млрд лет. Легко подсчитать, что если на развитие прокариот ушло около 500 млн лет, то между первыми прокариотами и первыми эукариотами лежит значительно больший отрезок времени, протяжённостью более миллиарда лет.

Как и в случае прокариот, можно только предполагать, каким путём возник этот новый уровень организации, с которым связана вся дальнейшая эволюция биосферы.

Предками эукариот, по-видимому, были гетеротрофные прокариоты. Первым шагом на пути становления эукариотной организации должна была стать утрата жёсткой клеточной стенки. Это позволило перейти к питанию посредством пино- и фагоцитоза, что кардинальным образом изменило способности организма по части использования источников питания. Появилась возможность заглатывать крупные частицы пищи, включая другие микроорганизмы. Этапы становления клетки эукариот представлены на рисунке 103.

Симбиоз с бактерией, обладающей способностью к аэробному расщеплению простых органических соединений, давал протоэукариотной клетке несомненный энергетический выигрыш, поскольку аэробный метаболизм в энергетическом плане намного выгоднее анаэробного (см. § 38). Постепенно симбионт превратился в клеточную органеллу — митохондрию. Сходным способом формировались хлоропласты, но симбионтом в этом случае были обладающие способностью к фотосинтезу цианобактерии.

Дальнейшая эволюция эукариот шла по пути формирования различных многоклеточных организмов. Возникали состоящие из одинаковых клеток слоевища, которые в дальнейшем дали начало водорослям, а на основе колониальных форм впоследствии сформировались животные. Именно многоклеточные организмы стали играть ведущую роль в формировании биосфер протерозоя и фанерозоя (около 0,6 млрд лет назад — до наших дней).

Клетка эукариот формировалась в середине протерозоя на основе совершенствования организации прокариот. Митохондрии и хлоропласты были приобретены в результате симбиоза древних эукариот с бактериями.

В новый
портфель

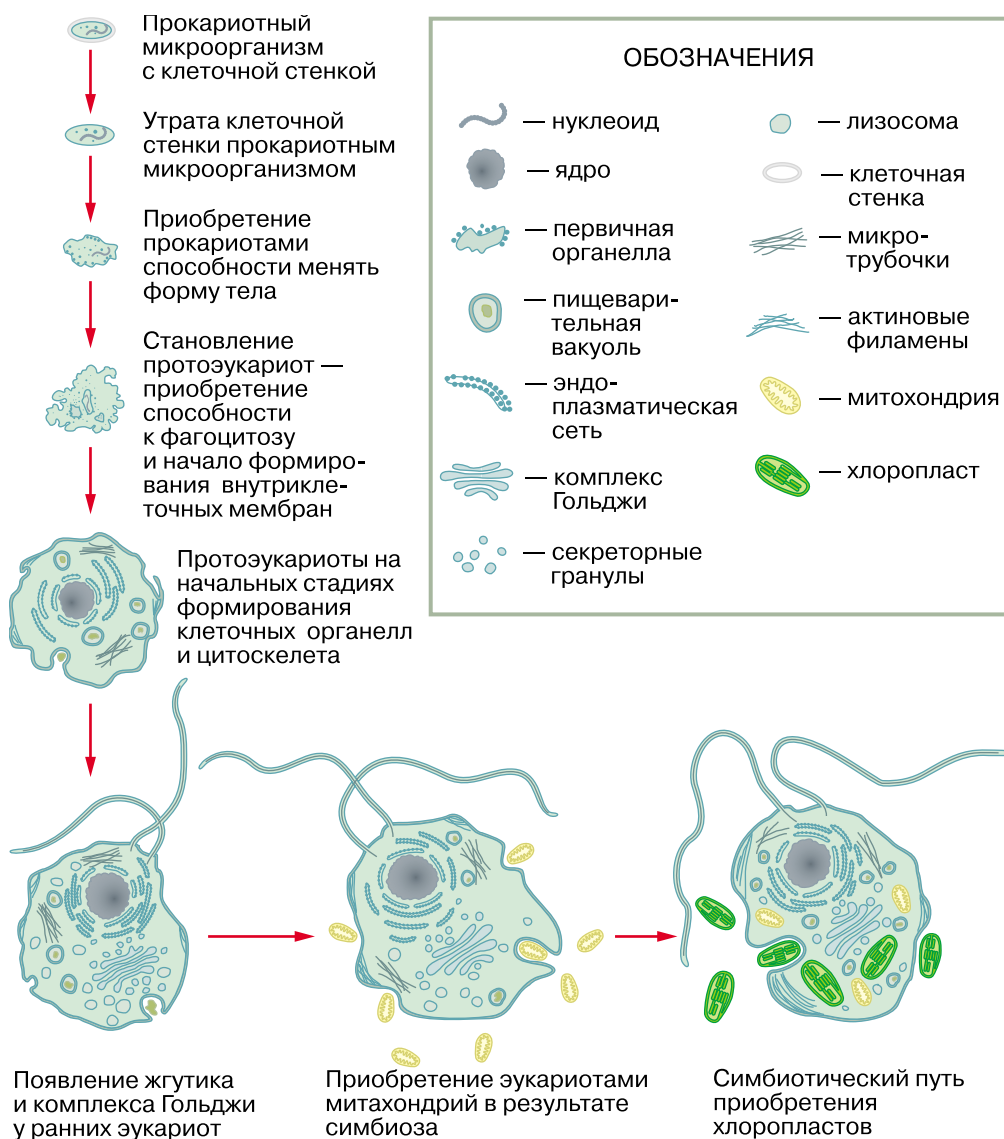


Рис. 103

Реконструкция последовательных этапов становления клетки эукариот

??

- ▷ Каковы две основные точки зрения на возникновение жизни?
- ▷ Какие условия древней Земли способствовали появлению органических соединений?
- ▶ Почему считают, что эволюция жизни началась с РНК?
- ▷ Опишите возможный сценарий развития живых существ.
- ▷ Каковы основные этапы эволюции клетки эукариот?
- ▶ В условиях термальных гейзеров в наше время возможно возникновение «коацерватных капель». Как вы думаете, почему не происходит их дальнейшего развития в одноклеточные организмы? Обсудите ответ на этот вопрос с соседом по парте.
- ▶ С появлением каких организмов связано накопление кислорода в атмосфере? Каково значение этого события для развития биосферы Земли?

Урок-семинар

Счастлив тот, кто вещей познать сумеет причины...
Лукреций

?

Как шло развитие животных и растений в разные геологические эпохи? Каковы были причины расцвета и вымирания разных групп живых организмов? Как проходила смена биосфер в истории Земли?

Биоразнообразие. Эволюция. Происхождение прокариот и эукариот (см. § 50, 76—78; Биология, 7—9 кл.). Геохронологическая шкала (География, 8 кл.; Биология, 9 кл.). Биосфера (см. § 29).

Из старого портфеля

ЦЕЛЬ СЕМИНАРА. Сформировать представления о последовательности событий, связанных с эволюцией живого, в разные геологические эпохи.

ПЛАН СЕМИНАРА

1. Последовательные этапы развития живых существ в разные геологические эпохи.
2. Причины расцвета и вымирания растений и животных.
3. Смена биосфер в истории Земли.

Необходимые источники информации

1. Колчинский Э. И. Эрнст Майр и современный эволюционный синтез / Э. И. Колчинский. — СПб.: КМК, 2006.
2. Лапо А. В. Следы былых биосфер / А. В. Лапо. — М.: Знание, 1987.
3. Энциклопедия для детей. [Т. 2.] Биология. — М.: Аванта+, 2012.
4. Яблоков А. В. Эволюционное учение / А. В. Яблоков, А. Г. Юсуфов. — М.: Высшая школа, 2006.

Мы живём в биосфере, которая сформировалась всего несколько миллионов лет назад — ничтожный промежуток в масштабах геологического времени. Чтобы понять, как возникло современное биоразнообразие (включая и человека), попробуем проследить некоторые важные этапы эволюции жизни на нашей планете.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 1

Попробуйте определить, в чём заключается важность открытия бесскелетной фауны конца протерозоя — вендского периода, или *венда* (от 700—650 до 550—590 млн лет назад). Эту фауну называют *эдиакарской фауной*.

Где и как были открыты самые древние многоклеточные живот-

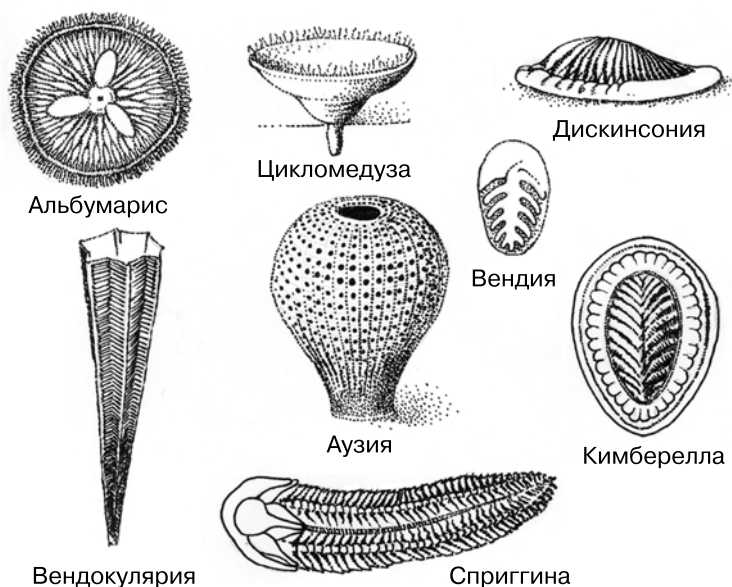


Рис. 104
Животные венда

ные, изображённые на рисунке 104? Какие группы животных уже существовали в венде?

Дополнительные источники информации

1. Биология: школьная энциклопедия / Г. А. Белякова, А. Е. Бобырев, М. А. Валовая и др. — М.: Большая Российская энциклопедия, 2004.
2. Галактионов К. В. Современное многообразие живого и пути его становления / К. В. Галактионов. — СПб.: СПбГУПМ, 2003.
3. Федонкин М. А. Холодная заря животной жизни / М. А. Федонкин // Природа. — 2000. — № 9. — С. 3—11.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 2

Попробуйте разобраться в проблеме «кембрийского взрыва эволюции». Был ли он на самом деле, или это всего лишь палеонтологический артефакт¹?

Почему возникли представления о «кембрийском взрыве эволюции»? Какие организмы населяли водоёмы кембрия? (Обратите внимание на их скелет!) Каких животных можно считать предками кембрийских? Можно ли считать «кембрийский взрыв эволюции» «взрывом изобилия окаменелостей» и если да, то почему?

Дополнительные источники информации

См. источники информации к теме 1.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 3

Попробуйте выделить основные вехи в развитии растений и животных в палеозое. Определите, какую роль сыграл процесс выхода живых организмов на сушу в эволюции биосферы.

Какие растения и когда первыми оказались на суше? Как выход на сушу повлиял на строение растений и на способы их размножения? Из каких растений состояли первые леса? В каких условиях происходило формирование современных месторождений каменного угля? Какие животные населяли палеозойские водоёмы? Почему именно

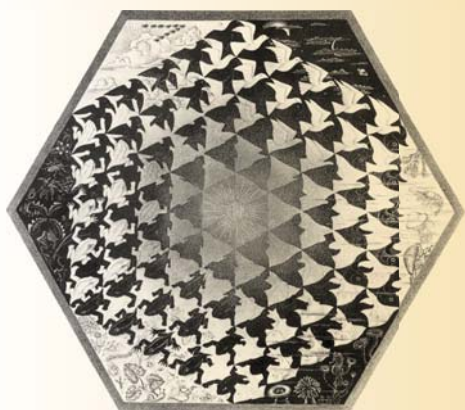
членистоногие (особенно насекомые) и позвоночные смогли завоевать сушу? Какие климатические факторы привели к вымиранию древних амфибий и способствовали расцвету пресмыкающихся в конце палеозоя — начале мезозоя?

Дополнительные источники информации

1. Биология: всемирная энциклопедия / гл. ред. М. В. Адамчик, В. В. Адамчик. — Минск: Современный литератор, 2004.
2. Биология: школьная энциклопедия / Г. А. Белякова, А. Е. Бобырев, М. А. Валовая и др. — М.: Большая Российская энциклопедия, 2004.
3. Козлов М. А. Мир животных: зоологическая энциклопедия / М. А. Козлов, И. М. Олигер. — СПб.: Золотой век: Азбука-классика, 2004.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 4

Обсудите, как шло формирование животных и растений в мезозое. Попробуйте проанализировать



Мауриц Корнелис Эшер. VERBUM

Какую теорию развития жизни можно проиллюстрировать литографией Эшера?

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

¹Артефактом называют искажение результатов исследования из-за отклонений в проведении эксперимента или из-за дефектов самой методики.

с разных сторон проблему вымирания динозавров и других групп животных и растений на рубеже юры и мела. Какое, с вашей точки зрения, объяснение этого феномена наиболее приемлемо? Какие события могли стать причиной глобального изменения мезозойской биосферы, определившей её переход в кайнозойскую?

Какие группы наземных растений и животных доминировали в мезозое и какие изменения в их составе произошли в конце мела и начале кайнозойской эры? С чем связан расцвет цветковых растений в меловом периоде и последующие эпохи? Когда появились млекопитающие и как связан их расцвет с вымиранием мезозойских рептилий?

Дополнительные источники информации

1. Биология: школьная энциклопедия / Г. А. Белякова, А. Е. Бобырев, М. А. Вало́вая и др. — М.: Большая Российская энциклопедия, 2004.
2. Брем А. Э. Жизнь животных / А. Э. Брем. — М.: Эксмо, 2011.
3. Иорданский Н. Н. Эволюция жизни: учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / Н. Н. Иорданский. — М.: Академия, 2001.
4. Удивительная планета Земля: иллюстрированный атлас эволюции. — М.: Ридерс Дайджест, 2003.
5. Хлебосолов Е. Н. Лекции по теории эволюции / Е. Н. Хлебосолов. — М.: Перспектива, 2004.
6. Школьник Ю. К. Растения: полная энциклопедия. — Ю. К. Школьник. — М.: Эксмо, 2013.
7. Энциклопедия для детей. [Т. 43.] Ботаника. — М.: Мир энциклопедий Аванта+: Астрель, 2010.
8. Энциклопедия для детей. [Т. 2.] Биология. — М.: Мир энциклопедий Аванта+, 2012.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 5

Проследите последовательность смены биосфер в истории Земли и попытайтесь охарактеризовать основные параметры биосфер, существовавших в разные геологические эпохи. Используйте при этом материал предыдущего параграфа и всё то, что вы обсуждали на семинаре.

Дополнительные источники информации

Все рекомендованные выше.

Слова для поискового запроса: развитие жизни на Земле, эволюция живых организмов, геохронологическая таблица, вендский период, эдиакарская фауна, ископаемые растения и животные.

ПОДВЕДЕНИЕ ИТОГОВ

Жизнь на нашей планете прошла длительный путь эволюции, насчитывающий около 4 млрд лет. За это время появлялись всё новые и новые, более совершенные организмы, что сопровождалось вымиранием огромного числа таксонов самого разного уровня, которые не устояли в ходе борьбы за существование. Толчком к вымиранию могли послужить естественные климатические изменения, природные катастрофы, резкая смена условий существования в связи с экспансией новых, более совершенных организмов и многие другие события, которые пока ещё не выяснены современной наукой.

Развитие живого сопровождалось последовательной сменой биосфер: от первой, прокариотной и до современной, сформировавшейся в четвертичном периоде. Смена биосфер — событие достаточно обычное и вероятное, оно сопровождается вымиранием доминирующих в предыдущей биосфере видов и воцарением новых (лишний повод задуматься о судьбе современной биосферы и принять меры к решению экологических проблем, иначе человек тоже может стать вымершим видом).

В новый портфель

Сколько схож с нами зверь гнусный обезьяна!

Квинт Энний

?

Каково положение человека в системе живого? Какое место в эволюции человека отводится австралопитекам? Какой вид считают первым представителем рода *Номо*? Какие ещё виды людей существовали?

Ключевые
слова

Приматы • Гоминиды • Австралопитеки • Человек умелый • Архантропы (человек прямоходящий) • Палеоантропы (неандерталец) • Неоантропы (человек разумный)

Из старого
портфеля

Основные систематические категории (таксоны) (см. § 50). Отряд приматов (Биология, 7 кл.). Строение скелета человека (Биология, 8 кл.).

ПРЕДЫСТОРИЯ ЧЕЛОВЕКА. Карл Линней первым определил место человека в системе животного царства, отнеся его к классу млекопитающих, отряду **приматов**. На происхождение человека от обезьяноподобных предков указывал и Ж.-Б. Ламарк. Ч. Дарвин посвятил этой проблеме изданную в 1871 г. книгу «Происхождение человека и половой отбор», где он собрал множество доказательств, свидетельствующих о близости человека и человекообразных обезьян. Среди этих доказательств и сходства в анатомии и эмбриональном развитии, и рудиментарные органы и атавизмы, и многое другое. Однако до настоящего времени остаётся неясным, какой представитель человекообразных обезьян дал начало **гоминидам** — семейству, объединяющему орангутанов, горилл, шимпанзе и людей. Единственным ныне живущим представителем рода *Номо* (человек) является *Номо sapiens* (человек разумный).

АВСТРАЛОПИТЕКИ. В 1924 г. Раймонд Дарт обнаружил в Южной Африке останки существа, которое сочетало черты обезьяны и человека. Объём мозга — обезьяний, 400—500 см³, но в то же время клыки слабо развиты, а большое затылочное отверстие, служащее для выхода спинного мозга, располагалось с нижней стороны черепа. Это однозначно свидетельствовало, что существо, которому принадлежал череп, ходило на двух ногах. Дарт назвал его **австралопитеком** — *Australopithecus* (*A.*) *africanus*, т. е. южной обезьяной из Африки (рис. 105).

Исследования в Южной Африке в 20—30-х гг. XX в. позволили обнаружить много ископаемых останков австралопитеков. Оказалось, что их было несколько видов. Один — это описанный Р. Дартом *A. africanus*, обладавший изящным (грациальным) скелетом, ростом 1,1—1,4 м и весом 30—60 кг. Два других имели более мощный (массивный) скелет и при росте 1,1—1,8 м достигали веса 40—80 кг. Они получили названия *A. robustus* (могучий) и *A. boisei* (австралопитек Бойса). (В настоящее время массивных австралопитеков относят к роду парантропов.) Современные методы анализа датируют возраст останков массивных австралопитеков 2,3—1,1 млн лет, а грациальных — 3,5—2,5 млн лет.

В 1974 г. в Эфиопии был обнаружен самый полный на сегодняшний день скелет австралопитека. Это была женская особь, которую

члены экспедиции назвали Люси и отнесли к виду *A. afarensis* (австралопитек афарский). Этот вид рассматривают как предковый для грациальных и массивных австралопитеков. Строение пояса нижних конечностей Люси говорит о том, что она перемещалась на двух ногах. В дальнейшем этот вывод подтвердился и находкой окаменелой цепочки следов ног двух особей, прошедших по вулканическому пеплу примерно 3,7 млн лет назад. К настоящему времени на северо-востоке Африки найдены многочисленные фрагменты скелетов особей того же вида, что и Люси, а также ещё несколько близких видов.

Что же нового для понимания эволюции человека дали последние исследования австралопитеков? Прежде всего факт их двуногого хождения свидетельствует, что этот способ перемещения появился на самых ранних этапах формирования человека и сыграл важную роль в его эволюции. Высвобождение передних конечностей — рук позволило использовать их для выполнения многих функций (захват предметов, сбор плодов и корней, бросание камней, перенос детёнышей и др.), а в дальнейшем и для изготовления орудий труда. Именно изготовление и использование орудий труда дало импульс для развития головного мозга, что и стало генеральной линией эволюции человека. Австралопитеки не могли ещё делать каменных орудий, но, возможно, изготавливали какие-то примитивные орудия из палок, рогов и костей животных.

Массивные австралопитеки приспособились к использованию твёрдой пищи (семена злаков, твёрдые плоды деревьев), которая была доступна во все сезоны. Это нашло отражение в особенностях строения их зубов и черепа. Грациальные же австралопитеки научились в засушливые сезоны добывать корни и, по-видимому, начали использовать в пищу мясо (вначале это были трупы животных). Видимо, именно от грациальных австралопитеков и берет начало древние представители рода *Homo*.



Австралопитек африканский



Австралопитек могучий



Человек прямоходящий



Человек неандертальский



Человек разумный

Рис. 105
Изменение пропорций черепа
в ходе эволюции

Древние предки человека — австралопитеки обитали в Африке примерно 4,2—1 млн лет тому назад. Главная особенность австралопитеков — хождение на двух ногах, позволившее освободить руки. Непосредственно в своём происхождении человек, скорее всего, связан с грациальными австралопитеками.

**В новый
портфель**

ПЕРВЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛИ РОДА *НОМО*. Первый несомненный представитель рода *Homo* был найден в 60-х гг. XX в. в ущелье Олдувай (Танзания) экспедицией под руководством Луиса Лики и получил название *Homo habilis* — **человек умелый**. Известно о нём немного, поскольку вид был малочисленный (предполагается, что в период расцвета насчитывалось около 125 тыс. особей) и ископаемых находок его мало. Жил человек умелый в период 1,5—2,3 млн лет назад. Объём его мозга достигал 500—650 см³, т. е. примерно на треть больше, чем у современных ему австралопитеков. Строение зубной системы говорит о всеядности человека умелого и использовании им мясной пищи. Именно человек умелый первым стал изготавливать каменные орудия труда (рис. 106, а). Вместе с его останками обнаружили грубые орудия из гальки, отколотой с одного края, и кости животных, расколотые этими орудиями для добывания мозга.

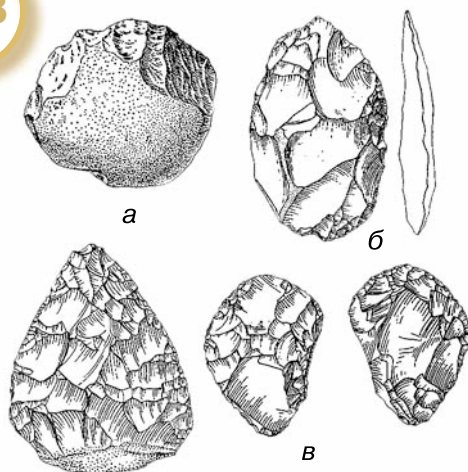


Рис. 106

Орудия труда предков человека:
 а — человека умелого; б — человека прямоходящего; в — неандертальца

Следующего представителя рода *Homo* — **человека прямоходящего** (*Homo erectus*) — относят к **архантропам** (древнейшим людям). Этот вид людей появился около 1,4 млн лет назад. Объём головного мозга человека прямоходящего составлял 900—1000 см³, что в два раза превышает объём мозга человека умелого и достигает нижней границы, известной для нормально развитого мозга современного человека. По сравнению с человеком умелым у человека прямоходящего существенно изменился жевательный аппарат, в том числе уменьшились размеры зубов. Это указывает на питание более мягкой пищей, возможно термически обработанной. Неизвестно, мог ли человек прямоходящий разводить огонь, но поддерживать его мог определённо.

Рост человека прямоходящего достигал 1,6 м, вес — 65 кг. Для него уже характерны значительно более совершенные орудия труда (рис. 106, б) — различные каменные *рубила*. Ими пользовались при разделке добычи, кото-

рой могли быть трупы животных или пойманные мелкие животные, для выкапывания съедобных корней и т. п. По-видимому, человек прямоходящий уже владел речью, хотя и достаточно примитивной. Поздние находки этого вида датируются возрастом 400 тыс. лет, хотя на Яве он вымер около 50 тыс. лет назад.

В новый портфель

Человек умелый и человек прямоходящий — первые представители рода *Homo*. Они появились в Африке, а человек прямоходящий затем широко распространился по Евразии. Для обоих видов было характерно изготовление каменных орудий труда.

МИР ПАЛЕОАНТРОПОВ. Палеоантропами обобщённо называют ископаемых людей, которые появились вслед за архантропами, но предшествовали **неоантропам**, т. е. людям современного типа. Наиболее древние ископаемые останки палеоантропов найдены в Африке и датируются возрастом около 800 тыс. лет назад, более поздние обнаружены практически во всех районах, где обитал человек прямоходящий. Объём мозга палеоантропов превышал 1100 см³, они господствовали на планете вплоть до появления неоантропов. В настоящее время среди палеоантропов выделяют несколько видов, самый известный из которых **неандерталец** (*Homo neanderthalensis*). Не вызывает сомнений, что один из палеоантропов дал начало и виду *Homo sapiens* — **человек разумный**, к которому относятся все ныне живущие люди.

??

- ▷ Какие изменения в строении скелета и головного мозга позволили предкам человека использовать орудия труда и огонь?
- ▷ Каково местоположение человека разумного в современной системе животного мира?
- Используя Интернет и другие источники информации, определите, по какому критерию определяют принадлежность тех или иных ископаемых существ к роду человек.
- Используя Интернет и другие источники информации, объясните связь между понятиями «эмбриогенез» и «антропология». Приведите конкретные примеры, демонстрирующие эту связь.

Урок-семинар

Ты вопрос задаёшь мне: что есть человек?
И вопрос не простой и нелёгкий ответ.
Человек — это знак из пучин мироздания,
Он всплывёт на мгновение и тонет навек.

О. Хайям



Каково место неандертальца в родословной человека? Как и где шла эволюция человека разумного? Почему сформировались расы человека? Какова роль культуры и социальных факторов в эволюции человека? Возможна ли эволюция современного человека?

Происхождение человека (см. § 80). Строение ДНК. Гены. Геном (см. § 30, 31).

Из старого
портфеля

ЦЕЛЬ СЕМИНАРА. Выяснить, как шла эволюция человека разумного и какие факторы сыграли первостепенную роль в этом процессе.

ПЛАН СЕМИНАРА

1. Неандертальцы и человек разумный: особенности анатомии и физиологии, образ жизни, генетические различия, взаимоотношения этих двух видов людей. Возможные причины исчезновения неандертальцев.
2. Гипотезы возникновения человека разумного — моноцентризм и полицентризм.
3. Человек и его расы.
4. Факторы эволюции человека.

Необходимые источники информации

1. Вишняцкий Л. Б. Человек в лабиринте эволюции / Л. Б. Вишняцкий. — М.: Весь Мир, 2004.
2. Георгиевский А. Б. Эволюционная антропология / А. Б. Георгиевский. — М.: Нестор-История, 2009.
3. Дольник В. Р. Непослушное дитя биосферы. Беседы о человеке в компании птиц и зверей / В. Р. Дольник. — СПб.: ЧеРо-на-Неве: Паритет, 2007.
4. Лурье С. В. Психологическая антропология: история, современное состояние, перспективы / С. В. Лурье. — М.: Академический Проект: Деловая книга, 2003.
5. Смирнов С. А. Современная антропология / С. А. Смирнов // Человек. — 2004. — № 3. — С. 79—88.
6. Энциклопедия для детей. [Т. 18.] Человек. — М.: Мир энциклопедий Аванта+: Астрель, 2010.
7. Яблоков А. В. Эволюционное учение / А. В. Яблоков, А. Г. Юсуфов. — М.: Высшая школа, 2006.
8. <http://gotourl.ru/14510> — интернет-сайт «Проблемы эволюции».
9. <http://antropogenez.ru/> — интернет-сайт «Антропогенез.ру».
10. <http://www.elementy.ru/> — интернет-сайт «Элементы большой науки».

Слова для поискового запроса: антропогенез, родословная человека, палеоантропы, неандертальцы, факторы эволюции человека.

Где и как сформировался вид человек разумный? Почему именно человек разумный остался единственным видом людей на Земле? Вопросы *антропогенеза* (происхождения и эволюции человека) издавна волнуют человечество. Окончательных ответов на них пока что нет. Однако на-

копленные к настоящему времени антропологами и биологами материалы позволяют пролить свет на разные этапы эволюции современного человека. Попробуем их проследить.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 1

Когда появились, как выглядели и где обитали неандертальцы? Неандерталец — самостоятельный вид или подвид человека разумного?

Чтобы ответить на второй вопрос, попробуйте сравнить, используя приведённые выше литературные источники, облик неандертальца и человека разумного. Найдите материалы о сопоставлении ДНК, которую удалось извлечь из останков неандертальца, с ДНК современных людей.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 2

Обсудите особенности культуры неандертальцев. Попробуйте найти ответ на вопрос: почему неандерталец исчез с лица земли?

Мог ли неандерталец говорить? Поищите в приведённых выше источниках сведения об образе жизни неандертальцев, способах добычи пищи, обрядах захоронения. Какими орудиями труда пользовался неандерталец (см. рис. 106, в)? Сравните культуру неандертальцев и ранних представителей людей современного типа.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 3

Попытайтесь разобраться в проблеме происхождения человека разумного, используя аргументы, которые предлагаются сторонниками гипотез полицентризма и моноцентризма.

Сторонники гипотезы *полицентризма* считают, что человек разумный возник в разных частях планеты от разных предковых форм. Тогда, например, происхождение монголоидов следует связывать с синантропом (представитель *Homo erectus*, обитавший на территории современного Китая), а европеоидов — с неандертальцем. Чтобы подобное стало возможным, должен был существовать мощный обмен генами между популяциями, населяющими разные континенты. Насколько такое предположение реально? Гипотеза *моноцентризма* предполагает происхождение человека разумного от относительно небольшого предкового стада, обитавшего в Африке примерно 160 тыс. лет назад. Попробуйте найти в литературных источниках доводы за и против в отношении каждой из этих гипотез. Не забудьте, что дополнительные аргументы могут предоставить данные молекулярно-биологических исследований. Для этого найдите информацию о так называемой «митохондриальной Еве».

Дополнительные источники информации

1. Стрингер К. Б. Происхождение современных людей / К. Б. Стрингер // В мире науки. — 1991. — № 2. — С. 54—61.
2. Уилсон А. К. Недавнее африканское происхождение людей / А. К. Уилсон, Р. Л. Канн // В мире науки. — 1992. — № 6. — С. 8—20.

Слова для поискового запроса: родословная человека, палеоантропы, неандертальцы, полицентризм, моноцентризм, «митохондриальная Ева».

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 4

Проследите, как шло расселение человека разумного по планете и как формировались его расы. Попытайтесь разобраться в вопросе, почему возникли межрасовые различия.

Современное человечество разделяют на три или пять больших рас. В первом случае это *экваториальная* (негро-австралоидная), *евразийская* (европеоидная) и *азиатско-американская* (монголоидная) расы,

а во втором *негроидная, австралоидная, европеоидная, монголоидная и американская* (индейская). Внутри каждой расы выделяют малые расы, или подрасы. Найдите в литературе сведения о путях формирования рас. Обязательно обсудите данные молекулярно-генетического анализа. Подберите литературные сведения и подумайте, какие факторы играли роль в формировании расовых различий.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 5

Обсудите, что могло послужить толчком для развития человека современного типа. Почему ему удалось вытеснить всех своих ближайших родичей?

Вначале найдите сведения о том, какие климатические условия были в Евразии в период заселения её человеком разумным (около 40 тыс. лет назад). Подумайте, как могло повлиять на развитие людей современного типа освоение ими навыков коллективной охоты на крупных копытных животных (олени, овцебыки, мамонты, шерстистые носороги, бизоны и др.). Как могли сказаться альтруистические наклонности (например, забота о стариках и поддержка физически не самых сильных, но зато умелых соплеменников)? Найдите в литературных источниках сведения о культуре людей современного типа в начальный период их экспансии в Евразию.

Дополнительные источники информации

Бутовская М. Л. Эволюция человека и его социальной структуры / М. Л. Бутовская // Природа. — 1998. — № 9. — С. 87—99.

Слова для поискового запроса: факторы эволюции человека.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 6

Возможна ли дальнейшая эволюция человека разумного? Вышел ли человек из-под давления естественного отбора? В каком направлении, по вашему мнению, может идти дальнейшая эволюция человека?

Дополнительные источники информации

Татаринов Л. П. Очерки по теории эволюции / Л. П. Татаринов. — М.: Наука, 1987.

ПОДВЕДЕНИЕ ИТОГОВ

В науке не существует единого мнения относительно таксономического статуса неандертальцев: их считают или подвидом *Homo sapiens*, или отдельным видом либо даже родом. На протяжении около 5—10 тыс. лет (примерно 30—40 тыс. лет тому назад) неандертальцы сосуществовали на территории современной Евразии с видом *Homo sapiens* и постепенно вымерли, скорее всего не выдержав конкуренции со своим более прогрессивным родичем (о причинах вымирания неандертальцев существует множество гипотез). По новейшим данным, неандертальцы могли скрещиваться с людьми современного типа и современные неафриканские популяции *Homo sapiens* имеют примерно 2,5 % неандертальских генов.

Палеонтологические и молекулярно-генетические данные свидетельствуют о том, что человек разумный произошёл из одной популяции, появившейся в Африке около 160 тыс. лет назад, а затем расселился по всему свету, вытеснив предшествующие формы. Расселение человека по Земле небольшими группами привело к образованию изолированных популяций, что способствовало формированию в пределах вида человек разумный нескольких рас. В эволюции человека огромную роль играют не только биологические факторы, но и социальные (общественный образ жизни, орудийная деятельность, мышление и речь).

82 КОЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДЫ И ЦИВИЛИЗАЦИИ

Урок-конференция

Важнейшая задача цивилизации — научить человека мыслить.
Т. Эдисон



В чём причины экологического кризиса? Что такое ноосфера? В чём заключается концепция устойчивого развития?

ЦЕЛЬ КОНФЕРЕНЦИИ. Понять природу современного экологического кризиса; определить основные пути гармоничного развития цивилизации.

ПЛАН КОНФЕРЕНЦИИ

1. Проявления современного экологического кризиса.
2. В. И. Вернадский о биосфере и ноосфере и путях их развития.
3. Взаимовлияние биосферы и человека.
4. Коэволюция природы и человека и устойчивое развитие цивилизации.

Появившиеся на Земле живые организмы стали активно преобразовывать окружающую среду. Современные атмосфера, гидросфера, земная кора в значительной степени сформировались под влиянием живого.

Около 40 тыс. лет назад Землю населили люди современного типа. Стала развиваться человеческая цивилизация. Сначала она робко приспособлялась к условиям среды, а затем стала перестраивать эту среду, в свою очередь приспособлявая её к своим потребностям. По словам выдающегося отечественного учёного Владимира Ивановича Вернадского, человечество становится «геологической силой». Оставаясь частью природы, человек старается поставить себя выше природы, подчинить её себе. Результатом этого явился нарастающий *экологический кризис*, грозящий перерасти в экологическую катастрофу. Истребляются сотни видов живых организмов, вырубаются леса — «лёгкие» планеты, миллиарды тонн отходов человеческой деятельности загрязняют почву, гидросферу, атмосферу, увеличивается количество техногенных катастроф.

Лишь к концу XX в. человечество начало осознавать, что дальнейшее развитие цивилизации должно быть связано не с подчинением природы или противопоставлением ей человека, а с совместным развитием — *коэволюцией* природы и человека.

Идеи коэволюции были сформулированы ещё в середине XX в. В. И. Вернадским, П. Тейяром де Шарденом и др. Были высказаны идеи о существовании *ноосферы*, которая может трактоваться как сфера разумного взаимодействия человека и природы, сфера ответственного поведения человека. Только переход биосферы в ноосферу, согласно Вернадскому, может обеспечить прогрессивную эволюцию как человеческой цивилизации, так и природы в целом.

СООБЩЕНИЕ 1

Современный экологический кризис и его проявления.

Источники информации

1. Браун Л. Р. Экоэкономика. Как создать экономику, оберегающую планету / Л. Р. Браун. — М.: Весь Мир, 2003.
2. Медоуз Д. Х. Пределы роста. 30 лет спустя / Д. Х. Медоуз, Й. Ран-дерс, Д. Л. Медоуз. — М.: ИКЦ «Академкнига», 2007.

СООБЩЕНИЕ 2

В. И. Вернадский о ноосфере.

Источники информации

1. Винер Д. Р. Культ Вернадского и ноосфера / Д. Р. Винер // В. И. Вернадский: pro et contra. — СПб.: Изд-во РХГИ, 2000.
2. Вернадский В. И. Живое вещество и биосфера / В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994.
3. Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера / В. И. Вернадский. — М.: Айрис-пресс, 2012.

СООБЩЕНИЕ 3

Человек и биосфера.

Источники информации

1. Глобальные проблемы биосферы. — М.: Наука, 2013.
2. Купцов В. И. Образование, наука, мировоззрение и глобальные вызовы XXI века / В. И. Купцов. — СПб.: Алетейя, 2009.

СООБЩЕНИЕ 4

Устойчивое развитие и коэволюция природы и человека.

Источники информации

1. Баландин Р. К. Природа и цивилизация / Р. К. Баландин, Л. Г. Бондарев. — М.: Мысль, 2000.
2. Моисеев Н. Н. Судьба цивилизации. Путь Разума / Н. Н. Моисеев. — М.: Языки рус. культуры, 2000.
3. Майнцер К. Системное мышление: материя, разум, человечество. Новый синтез / К. Майнцер. — М.: URSS, 2009.
4. Прайд В. Новые технологии и продолжение эволюции человека? Трансгуманистический проект будущего / В. Прайд, А. В. Коротаев. — М.: URSS, 2008.

Слова для поискового запроса: биосфера, ноосфера, цивилизация, экологический кризис, В. И. Вернадский, устойчивое развитие, коэволюция природы и человека.

СООБЩЕНИЕ 5

Проект.

До сих пор вы рассматривали и осмысливали творения великих мастеров для того, чтобы расширить собственные границы естественно-научного познания мира. Вероятно, вы осознали, насколько искусство обогащает постижение окружающего мира. Попробуйте убедиться в этом ещё раз, но уже экспериментальным путём.

1. В этой главе вы вместе с авторами учебника размышляли о путях эволюции мира. Сформулируйте несколько ключевых идей, которые вам представляются наиболее важными.
2. Попробуйте воплотить свои идеи, создав собственное произведение. Для этого вам не обязательно уметь рисовать. Вы можете работать группами, используя технику коллажа: нужное изображение создаётся при помощи других изображений (прежде всего, репродукций произведений художников) и даже предметов, наклеенных (прикреплённых) на большой лист бумаги, картона, доску и т. п. Напоминаем, что для собственного произведения не рекомендуется использовать страницы из книг или альбомов. Лучше взять иллюстрации или их ксерокопии из журналов.
3. Наверху вашего произведения (плаката) напишите *слоган* — краткое (из нескольких слов) сообщение (или девиз), отражающее основную идею созданного вами произведения. Обсудите выполненные плакаты с одноклассниками.

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

Развитие цивилизации возможно только в условиях гармоничной коэволюции природы и человека.

**В новый
портфель**

ОБОБЩЕНИЕ И ОСМЫСЛЕНИЕ МАТЕРИАЛА ГЛАВЫ

Жизнь творит порядок,
но порядок не творит жизни...
А. де Сент-Экзюпери



Природа — открытая, нелинейная, самоорганизующаяся, развивающаяся система.

Человек не может жить вне природы, вне биосферы, а биосфера долгие миллионы лет существовала без человека.

Знания о системной организации природы дают возможность человеку понять его место в природе и свой долг — сохранение жизни на планете.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖИЗНИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ РАЗВИТИЯ НАУКИ. Довольно трудно дать полное и однозначное определение понятия «жизнь», учитывая огромное разнообразие её проявлений. В большинстве определений жизни, которые были даны многими учёными и мыслителями на протяжении веков, учитывались основные качества, отличающие живое от неживого. Например, Аристотель говорил, что жизнь — это «питание, рост и одряхление» организма; А. Лавуазье определял жизнь как «химическую функцию»; немецкий естествоиспытатель Г. Тревиранус считал, что жизнь есть «стойкое единообразие процессов при различии внешних влияний». Понятно, что такие

определения не могли удовлетворить учёных, так как не отражали всех свойств живой материи. Кроме того, наблюдения свидетельствуют, что свойства живого не исключительны и не уникальны, как это казалось раньше, они по отдельности обнаруживаются и среди неживых объектов.

Немецкий философ Ф. Энгельс в работе «Диалектика природы» писал: «Жизнь есть способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их внешней природой...»

Видный советский биолог и биохимик, создавший теорию возникновения жизни на Земле из абиотических компонентов, академик Александр Иванович Опарин определял жизнь как «особую, очень сложную форму движения материи». Это определение отражает качественное своеобразие жизни, которое нельзя свести к простым химическим или физическим закономерностям. Однако и в этом случае определение носит общий характер и не раскрывает конкретного своеобразия этого движения.

В практической деятельности чаще используют определения, в которых заложены основные свойства, присущие всем живым формам. Вот одно из современных определений: «Жизнь — это макромолекулярная открытая система, которой свойственны иерархическая организация, способность к самовоспроизведению, самосохранению и саморегуляции, обмен веществ, тонко регулируемый поток энергии». Согласно данному определению жизнь представляет собой ядро упорядоченности, распространяющееся в менее упорядоченной Вселенной.

ПОДУМАЙТЕ И ОТВЕЬТЕ

1. Автор первой теории эволюции Ж.-Б. Ламарк предполагал, что в основе процесса развития лежит «стремление всего живого к самосовершенствованию». Как вы думаете, каким образом он мог бы объяснить сосуществование на Земле простых и сложных форм жизни, например дождевого червя и человека?
2. Поддержание постоянства внутренней среды (гомеостаза) является одним из признаков живого, однако согласно закону возрастания энтропии наш мир постоянно стремится к хаосу. Как объяснить это противоречие?

ЗАДАНИЕ

Нарисуйте древо жизни, используя свои знания и жизненный опыт. Ствол дерева — образ понятия «жизнь», ветви дерева — разнообразные характеристики этого понятия.

МАРШРУТЫ САМООБРАЗОВАНИЯ

Я чувствую себя вправе сказать: да здравствует самообразование во всех областях!.. Только те знания прочны и ценны, которые мы добыли сами, побуждаемые собственной страстью. Всякое знание должно быть открытием, которое вы сделали сами.

К. Чуковский

ПОИСК ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К УРОКАМ

ИДЁМ В БИБЛИОТЕКУ. «Возьмите себе за правило: сколько возможно больше и сколько возможно ближе знакомиться с книгами. Во-первых, узнавать о существовании книг, во-вторых, о качестве их, в-третьих, о вопросах, трактуемых в них. Ищите книгу, ищите в библиотеках и у знакомых, рассматривайте, хотя бы и не читая... старайтесь получить возможно полное представление о возможно большем числе книг. Нужно же знать, какие книги существуют на свете... Многому учит самый вид книги, её объём, содержание, характер изложения... Рыться в книгах (каких угодно) — это лучший способ находить интересные книги, интересные вопросы, интересные области знания» (*Н. А. Рубакин. «Практика самообразования»*).

Библиотека (от греч. *bibliotheke*: *biblion* — книга и *theke* — склад, хранилище) — это учреждение, в котором собраны и хранятся произведения печати и письменности для общественного пользования, а также осуществляющее справочно-библиографическую работу.

Вы пришли в библиотеку. В одних библиотеках есть открытый доступ к фонду (книгу можно самим найти на полке), а в других открытый доступ отсутствует и/или книгой можно пользоваться только в читальном зале библиотеки. В любом случае, чтобы найти необходимую информацию, вам придётся обратиться к справочно-библиографическому аппарату, важнейшей частью которого является система библиотечных каталогов (см. фото на с. 146).

В библиотеке существует несколько видов каталогов. Расскажем о некоторых из них.

Алфавитный каталог (АК) — библиотечный каталог, в котором библиографические записи располагаются в алфавитном порядке фамилий индивидуальных авторов, наименований коллективных авторов и/или заглавий документов. АК лучше пользоваться, если вы знаете фамилию автора или заглавие книги.

Систематический каталог (СК) состоит из двух подсистем: СК и **алфавитно-предметного указателя** к нему (АПУ). СК раскрывает фонд по содержанию и даёт информацию, какие книги по определённой теме есть в библиотеке. Чтобы найти необходимое издание в СК, сначала ищем нужный раздел. В разделе источники располагаются в порядке фамилий авторов и заглавий. СК используем в том случае, если не известны ни автор, ни заглавие книги. АПУ к СК — вспомогательный аппарат, содержащий алфавитный перечень предметных рубрик, раскрывающих содержание отражённых в СК документов. Термины в АПУ располагаются в алфавитном порядке с указанием шифра области знаний в СК.

Предметный каталог (ПК) — поисковый аппарат, который включает библиографические записи, расположенные в алфавитном порядке рубрик, терминов. ПК также используем в случае, если не известны ни автор, ни заглавие источника.

Электронный каталог (ЭК) — библиотечный каталог в машиночитаемой форме, работающий в реальном режиме времени и предоставленный в распоряжение читателей библиотеки. ЭК выполняет функции всех видов каталогов.

После того как вы нашли необходимый источник в каталоге, нужно оформить *листок читательского требования*, на котором следует указать библиотечный шифр, фамилию автора и заглавие книги. Пример шифра: $\frac{65}{P451}$. Шифр располагается в верхнем левом углу. По шифру либо вы сами найдёте, либо библиотекарь найдёт необходимую вам книгу. Если вам нужна статья из журнала, то на листке читательского требования вы должны указать название журнала, номер, год издания.

Не забывайте, что за помощью можно обратиться к любому служащему библиотеки.

ЭЛЕКТРОННО-БИБЛИОТЕЧНЫЕ СИСТЕМЫ. Помимо поиска рекомендуемой литературы в библиотеке, вы можете воспользоваться ресурсами Интернета — некоторые из книг (статей или журналов) с помощью различных информационно-поисковых систем можно найти в открытом доступе. Для поиска информации в выбранной поисковой системе надо ввести поисковый запрос (название книги и/или фамилии авторов и др.) в соответствующее поле системы.

В настоящее время всё большее распространение получают *электронно-библиотечные системы (ЭБС)*. ЭБС — организованная коллекция электронных документов. Она предоставляет возможность коллективным (например, сотрудникам и учащимся образовательного учреждения) или индивидуальным пользователям за относительно небольшую плату читать книги, находящиеся в распоряжении данной ЭБС. При этом работа с ЭБС возможна как с компьютерной сети образовательного учреждения, так и с домашнего компьютера. Многие публичные библиотеки также предоставляют своим читателям возможность доступа к базе данных ЭБС через Интернет непосредственно в библиотеке. Ниже приведён список наиболее распространённых электронно-библиотечных систем.

<http://e.lanbook.com/> — электронно-библиотечная система (ЭБС) «Издательство «Лань».

<http://www.iprbookshop.ru/> — электронно-библиотечная система (ЭБС) IPRbooks.

<http://znanium.com/> — электронно-библиотечная система (ЭБС) ZNANIUM.COM.

<http://ibooks.ru/> — электронно-библиотечная система (ЭБС) ibooks.ru (Айбукс.ру).

<http://www.biblioclub.ru/> — университетская библиотека ОНЛАЙН.

<https://lib.rucont.ru/> — национальный цифровой ресурс Руконт — межатраслевая электронная библиотека на базе технологии Контекстум.

Вы можете попробовать самостоятельно найти другие книги, сайты или информационные ресурсы, содержащие полезный материал. Для этого необходимо осуществить поиск по *словам для поискового запроса* — словам и словосочетаниям, которые наиболее точно отражают суть того, что вы собираетесь искать. При поиске источников информации

по словам для поискового запроса используйте материалы известных издательств, ЭБС и познавательных сайтов. Старайтесь не открывать размещённые в Интернете многочисленные рефераты, курсовые и дипломные работы, диссертации, которые могут содержать сомнительный материал. Используйте только достоверную информацию.

Помните о безопасности: многие сайты, предлагающие «бесплатно скачать», содержат вирусы!

ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПОРТАЛЫ И САЙТЫ

<http://www.edu.ru/> — Федеральный портал «Российское образование».

<http://www.school-collection.edu.ru/> — единая коллекция цифровых образовательных ресурсов.

<http://dic.academic.ru/> — словари и энциклопедии на «Академике».

<http://www.krugosvet.ru/> — универсальная научно-популярная онлайн-энциклопедия «Кругосвет».

<http://www.megabook.ru/> — мегаэнциклопедия Кирилла и Мефодия.

<http://www.elementy.ru/trefil/> — энциклопедия «Природа науки. 200 законов мироздания».

<http://www.astronet.ru/> — Российская астрономическая сеть «Астронет».

<http://www.astrolab.ru/> — сайт для любителей астрономии.

<http://www.astrogalaxy.ru/> — сайт «Астрогалактика».

<http://www.allplanets.ru/> — сайт «Планетные системы».

<http://www.biodat.ru/> — информационно-аналитический сайт о природе России и экологии.

<http://www.floranimal.ru/> — информационный ресурс о растениях и животных.

<http://www.chemnet.ru/> — электронное издание химического факультета МГУ.

<http://www.hemi.nsu.ru/> — образовательный сайт «Основы химии». Интернет-учебник.

<http://www.chemistry.ru/> — сайт «Открытый колледж: Химия».

<http://www.russianculture.ru/> — портал «Культура России».

<http://www.museum.ru/> — портал «Музеи России».

КАК КОНСПЕКТИРОВАТЬ ЛЕКЦИИ

Слушание и запись лекции — сложный вид работы. Чем раньше вы его освоите, тем легче вам будет учиться в школе, а затем и в вузе, колледже или другом учебном заведении.

Внимание человека очень неустойчиво. От вас потребуются волевые усилия, чтобы быть сосредоточенными на протяжении всей лекции.

Конспект будет полезным тогда, когда в нём записано самое существенное, основное. Не записывайте дословно всю лекцию, иначе потеряете логику и смысл услышанной информации.

Что записывать? Тему лекции, основные вопросы, их аргументацию, научные определения и выводы. Желательно записывать собственные формулировки.

Как записывать? Оставляйте широкие поля (для исправлений, дополнений, уточнений). Придумайте свою маркировку для выделения определений, формул, важных мест.

Например:

! — важно;	? — непонятно;
!! — очень важно;	?! — проверить.

При необходимости этот ряд можно продолжить. Также можно составлять таблицы, схемы, использовать контуры, всевозможные линии, цвет, упрощённые рисунки. Это поможет структурировать информацию и сделать её визуальной.

Написать хороший конспект — этого мало. С ним надо работать. Первый просмотр конспекта лучше сделать в тот же день: перечитать, исправить текст, сделать дополнения, разметить цветом. Через три-четыре дня ещё раз просмотреть, делая акценты уже только на самых важных моментах. Времени на это требуется немного, а результат обычно хороший: материал лекции усваивается основательно и глубоко.

Работая над конспектом, используйте учебник и дополнительную литературу, рекомендованную учителем (лектором).

КАК ПОДГОТОВИТЬ РЕФЕРАТ

Реферат (от лат. *refero* — докладываю, сообщаю) — краткое изложение содержания книги, научной работы, результатов изучения научной проблемы, доклад на определённую тему, включающий обзор соответствующих литературных и других источников.

СОВЕТЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ РЕФЕРАТА. Написание реферата — дело настолько интересное, что, занявшись им, обо всём остальном забываешь: этот процесс становится захватывающим, как детективный роман. И чтобы путь поисков и открытий не показался вам трудным, скучным, непреодолимым, мы предлагаем вам план, придерживаясь которого вы, может быть, тоже втянетесь в это увлекательное занятие.

1. Выбор темы реферата. Если темы рефератов предложены учителем, то постарайтесь выбрать ту, которая будет интересна именно вам. Курс «Естествознание, 10—11» позволяет это сделать, так как является интегрированным курсом, объединяющим знания из разных предметных областей. Тема должна быть значимой, актуальной, содержать элементы новизны, ориентировать вас на максимально самостоятельное, творческое изучение рассматриваемого вопроса.

2. Литературный обзор, поиск других источников информации. Чтобы получить представление об основных вопросах выбранной

темы, начинать лучше с общих и справочных изданий, например БСЭ, Аванта+, Большая энциклопедия Кирилла и Мефодия (на CD) и др. Затем следует перейти к научно-популярной литературе по теме, статьям из сборников и научно-популярных журналов («Популярная механика», «Наука и жизнь», «Техника — молодёжи», «Знание — сила», «Химия и жизнь», «Естествознание в школе», «Юный техник» и др.). Для поиска нужной литературы вам необходимо пойти в библиотеку и воспользоваться её фондами и справочно-библиографическим аппаратом. Также можно использовать ресурсы Интернета, материалы музейных экспозиций, результаты собственных исследований или наблюдений.

3. Составление плана реферата. У вас уже есть тема реферата и список источников информации. Следующий этап работы: необходимо сформулировать для себя проблему, которую вы будете раскрывать в соответствии с темой реферата.

Далее следует составить план реферата, который позволит вам изложить материал логично, последовательно, не повторяясь. В план должны быть обязательно включены разделы: введение, основная часть и заключение. Можно подготовить расширенный план: основные пункты, названия которых представляют собой законченную мысль, и второстепенные, которые раскрывают основные пункты плана. Ограничьте себя. Лучше глубоко разобрать несколько вопросов по выбранной теме, чем поверхностно упомянуть множество проблем, имеющих к ней какое-либо отношение.

4. Обработка и накопление материала. После прочтения отобранной литературы у вас появятся различные виды записей: конспекты, тезисы, выписки, цитаты. Также можно подготовить словарь терминов (нельзя использовать в тексте слова и словосочетания, значения которых вам неизвестны), справки о персоналиях. В процессе изучения материала составляйте хронологические таблицы, подбирайте иллюстративный материал: схемы, диаграммы, рисунки, фотографии — всё это поможет вам подготовить содержательный реферат.

5. Написание текста. Когда материал будет собран, можно откорректировать пункты плана и дальше работать уже в соответствии с ним. Не забывайте, что реферат — это самостоятельное изложение проблемы на основе информации, полученной из различных источников. В реферате должно быть раскрыто знание конкретной темы в контексте всего предмета, умение правильно соотнести научный, практический, критический, цитатный материал и собственный взгляд и суждения, умение использовать цитируемый материал для подтверждения собственных мыслей (но при этом важно не перегрузить текст цитатами). Цитаты, которые вы будете использовать в реферате, должны быть заключены в кавычки и воспроизведены точно по тексту.

ОФОРМЛЕНИЕ РЕФЕРАТА. Письменный (машинописный) текст реферата должен отвечать следующим требованиям.

Рекомендуемый объём работы — 10—15 страниц, но в школьном реферате должно быть, как минимум, 5 страниц. Текст печатается на одной стороне листа (шрифт — 12 пунктов, интервал — 1,5 строки). Первой страницей реферата считается титульный лист, страницы нумеруются, начиная со второй, арабскими цифрами. В объём реферата входят титульный лист, оглавление, введение, основная часть, заключение, список литературы. Примечания и приложения в объём реферата не входят, но входят в общую нумерацию.

Элемент реферата	Содержание и особенности элемента реферата
Титульный лист	Содержит: — наименование учебного заведения; — названия работы, предмета; — ФИО автора, класс; — город и год написания
Оглавление	Включает перечень пунктов, составленных в той последовательности, в которой они приведены в данной работе, с указанием страниц. Формулировки оглавления должны точно повторять заголовки глав и параграфов в тексте
Введение	Показывает актуальность данной темы, цель работы, личную заинтересованность автора, историю вопроса, краткий обзор используемой литературы. Раздел не должен превышать одной десятой части от общего объёма работы
Основная часть	Разделяется на главы и параграфы. Даёт представление о рассматриваемой проблеме с разных точек зрения, включает информацию об используемых автором источниках и изложение собственной позиции автора. Показывает связь рассматриваемого вопроса с другими областями знаний, отраслями промышленности и т. п.
Заключение	Включает подведение итогов: формулирование общих выводов, содержащих ответы на поставленные вопросы. Автор делает собственные обобщения, отмечает, что нового он получил в результате работы над данной темой, с какими проблемами столкнулся. Здесь можно обосновать новый взгляд на проблему и выдвинуть оригинальную гипотезу. Раздел по объёму не должен превышать текст введения
Список литературы	Состоит из двух частей: в первой — печатные издания (книги, статьи), во второй — электронные издания, ресурсы Интернета, видеоматериалы, интервью и т. д. Составляется в алфавитном порядке фамилий авторов или названий
Приложения	Включают фотоснимки, чертежи, рисунки, схемы, таблицы, графики, диаграммы и т. д. Каждое приложение должно иметь название или пояснительную надпись. Каждое приложение нумеруется, чтобы на него можно было сослаться в тексте
Примечания	<i>Данный раздел может отсутствовать в реферате, если примечания оформлены как подстрочные сноски, расположенные внизу страницы под чертой.</i> В раздел могут входить словарь специальных терминов, справки о персоналиях и т. д.

ОФОРМЛЕНИЕ СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ. Данный раздел реферата отражает степень изученности проблемы (5—10 источников). В нём фиксируются только те источники информации, с которыми работал автор реферата. Каждый источник информации упоминается в списке один раз независимо от того, как часто на него делается ссылка в тексте работы.

Наиболее удобным является алфавитное расположение материала. Произведения одного автора приводятся в списке по алфавиту названий. Вот несколько примеров.

Книга одного автора:

Томили́н А. Н. Тайны рождения звёзд и планет / А. Н. Томили́н. — М.: Просвещение, 2008.

Книга, написанная несколькими авторами (до трёх авторов):

Ако́ста В. Основы современной физики / В. Ако́ста, К. Кован, Б. Грэ́м. — М.: Просвещение, 1981.

Книга, написанная авторским коллективом (более трёх авторов):

Биология: школьная энциклопедия / Г. А. Белякова, А. Е. Бобырев, М. А. Валовая и др. — М.: Большая Российская энциклопедия, 2004.

Книга, написанная авторским коллективом под редакцией одного из них:

Биографии великих химиков / под ред. К. Хайнига. — М.: Мир, 1981.

Статья из журнала:

Белиловская М. Алхимик света / М. Белиловская // Популярная механика. — 2003. — № 11.

Материал из Интернета:

Ильинский Р. Мираж — это реально / Р. Ильинский // Юный техник [сайт]. — 2001. — № 2. — URL: http://www.jtdigest.narod.ru/dig2_01/mirage1.htm/

Электронный ресурс:

Физика: 7—9 кл.: мультимедийное учеб. пособие нового поколения. — М.: Просвещение-Медиа, 2004.

Теперь расставим всё в алфавитном порядке и пронумеруем:

1. Ако́ста В. Основы современной физики / В. Ако́ста, К. Кован, Б. Грэ́м. — М.: Просвещение, 1981.

2. Белиловская М. Алхимик света / М. Белиловская // Популярная механика. — 2003. — № 11.

3. Биографии великих химиков / под ред. К. Хайнига. — М.: Мир, 1981.

4. Биология: школьная энциклопедия / Г. А. Белякова, А. Е. Бобырев, М. А. Валовая и др. — М.: Большая Российская энциклопедия, 2004.

5. Томили́н А. Н. Тайны рождения звёзд и планет / А. Н. Томили́н. — М.: Просвещение, 2008.

6. Ильинский Р. Мираж — это реально / Р. Ильинский // Юный техник [сайт]. — 2001. — № 2. — URL: http://www.jtdigest.narod.ru/dig2_01/mirage1.htm/

7. Физика: 7—9 кл.: мультимедийное учеб. пособие нового поколения. — М.: Просвещение-Медиа, 2004.

Примечание. Электронные ресурсы, ресурсы Интернета, видеоматериалы, интервью размещаются после печатных изданий.

Итак, список литературы готов.

Желаем удачи и творческих успехов в написании реферата!

Скажу лишь одно, самое простое: чтобы выступление было интересным, выступающему самому должно быть интересно выступать.

Д. Лихачёв

Вам часто придётся представлять результаты своего труда в виде выступлений. На уроках-конференциях делать доклады, на уроках-семинарах — сообщения. И на тех, и на других уроках вступать в диалог, участвовать в дискуссии, в дебатах.

Доклад — изложение в устной (письменной) форме результатов исследования определённой проблемы на основе анализа источников или собственной исследовательской работы.

Сообщение — устное изложение какой-либо информации.

Диалог — разговор, в котором активно участвуют не менее двух собеседников. Он поддерживается взаимными репликами участников, речь которых может быть не полностью развёрнута. Часто эта речь возникает как ответ на вопрос и не требует специальной подготовки.

Дискуссия — обсуждение какого-либо спорного вопроса на собрании, в печати, в беседе.

Дебаты — обсуждение какого-либо вопроса, обмен мнениями, обычно после доклада.

Тезисы — кратко сформулированные основные положения доклада, лекции, сообщения и т. п.

При подготовке устного выступления обратите внимание на следующие рекомендации:

- любое выступление состоит из трёх частей: вступления (обоснование заявленной темы), главной части (основные вопросы содержания темы) и заключения (суммирование сказанного);

- подготовьте заранее шпаргалку: напишите план и тезисы выступления, имена, даты, цитаты и т. п., они помогут вам сориентироваться при выступлении;

- лучше не читать, а рассказывать (поупражняйтесь в произнесении текста перед зеркалом);

- не забудьте поприветствовать слушателей, объявить тему своего доклада и его цель;

- установите зрительный контакт с аудиторией (эффекта общения со всей аудиторией можно достичь, если медленно переводить взгляд с одной части аудитории на другую);

- используйте наглядный материал: таблицы, схемы, диаграммы, рисунки, портреты и т. п. (лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать);

- исключите из своей речи слова-паразиты: слова вроде «вот», «типа», «как бы», «значит», «ну», «того» вызывают раздражение;

- ставьте правильно ударение в словах (ударная гласная выделена жирным шрифтом: средства, километр, инструмент, звонить, мельком, понял; этот же приём можно использовать в своей шпаргалке);

- следите за:

- голосом (говорите громко и выразительно);

- темпом речи (средним темпом считается 120—150 слов в минуту с паузами);

- интонацией (монотонность речи снижает интерес слушателей);

- дикцией (чётко выговаривайте слова);

- мимикой (она должна быть подвижной, отражать отношение выступающего к тому, что он говорит);

- жестами (жестикаляция не должна быть непрерывной, однообразной — не каждую фразу нужно подчёркивать жестом);

- позой (правильная и удобная манера стоять поможет вам снять напряжение при выступлении и чувствовать себя уверенно).

Надеемся, что наши советы помогут вам.

Чтение научной литературы при работе над рефератом, подготовке к семинарам и конференциям — это ваша самостоятельная исследовательская работа. Мы рекомендуем выполнять её в следующей последовательности:

1. Определение цели (причины) чтения. Вы можете читать для того, чтобы получить общую информацию по какой-либо новой теме, найти цитату, доказательства, исследовать точку зрения человека, о котором говорили на уроке, и т. д. Во всех этих случаях чтение будет разным.

2. Выбор источников информации. Перед чтением нужно получить общее представление об источниках информации. Следует очень внимательно выбрать, что читать.

Разбейте название темы вашего реферата или выступления на ключевые слова (словосочетания), выберите одно слово и спланируйте чтение вокруг него. Затем перейдите к другим словам и проделайте то же самое. Далее составьте с помощью библиотечных каталогов список литературы. Если список оказался длинным, его можно сделать короче, используя такие приёмы:

- выберите те книги из списка, которые, как вам кажется, будут лёгкими для прочтения;

- изучите содержание (оглавление), выберите из него те разделы, которые содержат ключевые слова;

- если в конце книги есть алфавитный указатель, то найдите в нём нужные слова, отметьте страницы, прочитайте сначала эти страницы, а затем решите, будете ли вы читать книгу дальше;

- используйте журналы: в них печатается самая свежая информация.

Итак, вы держите в руках книгу с отмеченной главой, учебник, в котором поместили нужные параграфы, или статью из журнала.

Прочитайте введение (первый абзац) и заключение (последний абзац) — это поможет понять, о чём этот текст. Теперь вы можете решить, будете ли вы его читать.

В выбранном вами тексте прочитайте первое предложение каждого абзаца, чтобы понять, о чём абзац. Посмотрите, какие абзацы отвечают вашей теме, и решите, какие из них вы будете читать более внимательно.

Вернитесь к цели вашего чтения и убедитесь, что она вам понятна. Для этого задайте себе вопросы:

- Почему я читаю это?

- Что я ищу?

- Что мне надо?

- Где я буду использовать эту информацию?

- Как я буду использовать эту информацию?

- Достаточно ли этой информации? И т. п.

Напишите ваши вопросы на отдельном листе бумаги и держите их рядом, чтобы периодически к ним обращаться.

3. Чтение. Это не просто чтение — это *активное чтение*. Оно требует от вас физического и умственного напряжения. Перед чтением положите рядом источники информации, лист с вопросами, бумагу (белую и цветную), карандаши, маркеры и т. п.

Чтобы снять физическое напряжение, попробуйте:

- вложить закладку в конец того раздела, который читаете (без закладки может казаться, что нужно прочитать слишком много, а это пугает вас и тормозит ваше чтение);

- использовать лист бумаги (линейку), чтобы вести его по строкам (иногда мы не замечаем, что читаем одно и то же предложение несколько раз, и это усложняет чтение), тогда ваши глаза будут попадать на нужное место в тексте, и это сэкономит время.

Просто читая, невозможно запомнить, логически изложить, структурировать всё прочитанное по данной теме. Поэтому при чтении текста задавайте себе вопросы и делайте заметки, выделяйте ключевой текст. Вопросы могут быть разными, но они обязательно должны быть связаны с целью вашего чтения.

Помните: с книгой нужно обращаться бережно! Лучше всего сделать ксерокопии фрагментов, и тогда в них можно смело делать различные пометки, записи и т. п. Можно также сделать закладки, на которых вы можете писать всё, что считаете нужным, а в самом тексте ставить аккуратные отметки простым карандашом. После окончания работы не забудьте их стереть. Используйте разноцветные закладки. В разных источниках закладки одного цвета помогут найти материал по одному и тому же вопросу вашей темы.

4. Перечитывание. Не пугайтесь — это не значит, что вам снова придётся перечитывать все источники. Теперь вы быстро просматриваете текст и перечитываете ваши заметки на полях, подчёркивания, выделенный текст.

Зачем? Чтобы сделать и сохранить свои собственные записи по прочитанному материалу. Когда вы приступаете к своим записям, всегда указывайте источник ваших заметок (автор, название, город, издательство, год). Если вы цитируете (точно копируете часть текста), то вместе с источником указывайте номер страницы. Источник указывается даже в том случае, если вы его прочитали, согласились с автором и пересказали своими словами (идея всё равно чужая). Посмотрите в словаре значение слова *плагиат*.

5. Обзор. Просмотрите свои записи и оцените их, ответив на вопросы:

- Указаны ли источники информации?
- Точно ли выписаны цитаты?
- Соответствуют ли мои записи моей цели?
- Не пропустил ли я чего-нибудь?
- Надо ли мне ещё что-то прочитать?

При работе с некоторыми источниками информации вы можете найти в них ссылки на другие источники и других авторов. Читать эту литературу или нет, вы должны решить сами. Это зависит от многого: насколько ваши записи полны, соответствуют цели, есть ли у вас ещё время и т. п.

Дорогу осилит идущий! Желаем удачи!

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Абиогенез 239
 Абсолютно чёрное тело 60
 Австралопитеки 246
 Агрегатное состояние 134
 Агрегатный переход 136
 Адаптация 233
 Адиабатный процесс 181
 Адрон 73
 Актин 190
 Аллогенез 237
 Аминокислоты 89
 Амплитуда волны 174
 Антикодон 153
 Антропогенез 249
 Арогенез 237
 Ароморфоз 237
 Астероид 79
 Атавизм 234
 Атом 129
 Атомная теория Дальтона 138
 АТФ 115

Б

Белки 84
 Белки — молекулярные моторы 190
 Белый карлик 226
 Бинарная номенклатура 146
 Биogeография 234
 Биологическая система 84
 Биологический прогресс 238
 Биологический регресс 238
 Биомасса 107
 Биополимер 85
 Биосфера 87
 Бифуркации 209
 Бластула 219
 Большой взрыв 223
 Брожение 116

В

Вакуоль 100
 Вероятность 69
 Взаимодействие
 • короткодействующее 73
 • сильное 73
 • слабое 73
 • фундаментальное 56
 • электромагнитное 55
 Внутренняя энергия 182
 Волна
 • упругости 170
 • электромагнитная 169
 Вселенная 78, 223
 Вторичная атмосфера 231

Второй закон (начало) термодинамики 182

Г

Галактика 78, 225
 Гаметы 214
 Гастроула 219
 Ген 91
 Генетика 236
 Генетическая информация 91
 Генетический код 152
 Генофонд 87
 Гидростатическое равновесие 226
 Гипотеза 15
 Гликолиз 116
 Гомеостаз 84
 Гоминиды 246
 Гомологичные хромосомы 214
 Горение 135
 Гравитационная дифференциация 230
 Гравитационная неустойчивость 225

Д

Дегенерация 238
 Дедукция 26
 Деление ядра 195
 Денатурация 92
 Детерминизм 167
 Динамика 162
 Дифракция 62, 174
 Дифференцировка клеток 22, 100
 Длина волны 174
 ДНК 90
 Древнегреческая атомистика 128
 Дробление 219

Е

Естественный отбор 233
 Естествознание 4

Ж

Жизненный цикл 217

З

Закон сохранения импульса 113
 Закон сохранения момента импульса 113
 Закон Хаббла 223
 Законы природы 7
 Замкнутая система 112
 Звезда 79
 Звёздное скопление 79
 Зигота 214

И

Иерархические уровни организации жизни

- молекулярно-генетический 85
- онтогенетический 86
- популяционно-видовой 87
- экосистемный 87

Изменчивость 85, 233

Измерение 15

Изоляция 236

Изотоп 194

Изотропность пространства 120

Импульс 113

Ингибитор 186

Индивидуальное развитие (онтогенез) 86

Индукция 26

Инерциальная система отсчёта 162

Интенсивность излучения 60

Интерференция волн 173

Искусственный отбор 233

К

Капсид 101

Катализатор 185

Квант 65

Квантовая теория 21, 64

Кварк 77

Кинематика 161

Кинетическое уравнение 185

Кислород 135

Кислородная теория горения 136

Классификация 24

Классическая физика 20

Клеточная стенка 99

Клеточная теория 94

Клеточное дыхание 116

Коацерват 240

Кодон 152

Количество теплоты 181

Комбинативная форма наследственной изменчивости 214

Комета 79

Комплекс Гольджи 96

Консументы 106

Концепция

- близкодействия 57
- дальнодействия 57
- континуальная 50
- корпускулярная 50

Конъюгация 215

Коричневый карлик 226

Корпускула 131

Корпускулярная теория 131

Корпускулярно-волновой дуализм 70

Космогония 225

Космология 222

Коэволюция 252

Красная граница фотоэффекта 66

Красное смещение 223

Креационизм 232

Кроссинговер 216

Л

Лептон 73

Лизосома 95

Линейчатый спектр 60

М

Магнитная сила 54

Макромир 44

Макромутация 238

Макроэволюция 237

Материальная точка 161

Мегамир 44

Межчастичные силы 133

Мезодерма 219

Мейоз 215

Мембрана 95

Метаболизм 116

Метеороид 79

Метод

- теоретический 24
- эмпирический 24

Механизм химической реакции 185

Механическое движение 160

Микромир 44

Микроэволюция 237

Миозин 190

Миофибриллы 191

Митоз 97

Митохондрии 97

Моделирование 30

Модель

- математическая 8, 30
- материальная 30
- теоретическая 30

Молекулярная биология 235

Момент импульса 113

Монохроматические волны 173

Моноцентризм 250

мРНК 91

Мутация 236

Н

Наблюдение 14

Нарушение симметрии 121

Наследственность 85

Наука 4

Научная революция 37

Научная традиция 36

Неандерталец 248

Нейтральная мутация 238

Нейтрино 73
 Нейтронная звезда (чёрная дыра) 226
 Нелинейность 208
 Неоантропы 248
 Ноосфера 252
 Нормальная звезда 226
 Нуклеиновые кислоты 84, 90
 Нуклеоид 101

О

Обмен
 • пластический 116
 • энергетический 116
 Обращение времени 120
 Однородность времени 120
 Однородность пространства 119
 Онтогенез 86, 219
 Органеллы 95
 Открытая система 84, 208
 Относительная атомная масса 138
 Относительность движения 160

П

Палеоантропы 248
 Палеонтология 234
 Панспермия 239
 Парадигма 37
 Параметры 15
 Пептидная связь 89
 Первичная атмосфера 231
 Первый закон (начало) термодинамики 182
 Период волны 173
 Период полураспада 194
 Пирамиды численности, биомассы и энергии 108
 Пищевые сети 107
 Пищевые (трофические) цепи 107
 Планетарная модель атома 67
 Планетная система 79
 Пластиды 99
 Плодовитость 103
 Плотность популяции 103
 Поле
 • векторное 52
 • гравитационное 53
 • скалярное 52
 • фундаментальное 56
 • электрическое 54
 • электромагнитное 55
 Полипептиды 89
 Популяция 87, 103
 Постоянная Планка 65
 Постэмбриональный период 220
 Приматы 246
 Принцип суперпозиции волн 173

Пробное тело 54
 Пробный заряд 54
 Продуценты 106
 Прокариоты 94
 Протобионты 240
 Протозвезда 226
 Пустота 129

Р

Работа 181
 Работа выхода 66
 Радиоактивность 193
 Размножение
 • бесполое 214
 • вегетативное 216
 • половое 214
 Распад радиоактивных изотопов 230
 Редукционизм 7
 Редуценты 106
 Реликтовое излучение 224
 Репликация 91
 Рибосома 96
 РНК 90
 Рождаемость 103
 Рудиментарный орган 234

С

Самоорганизация 205
 Сверхновая звезда 227
 Симметрия
 • зеркальная 120
 • трансляционная 119
 Синергетика 205
 Синтетическая теория эволюции (СТЭ) 236
 Система координат 161
 Система отсчёта 160
 Систематизация 25
 Систематика 25
 Системный подход 8
 Скорость химической реакции 184
 Смертность 103
 Современная атмосфера 231
 Солнечный ветер 79
 Соматические клетки 214
 Состояние системы 167
 Спектр 59
 Сплошной спектр 60
 Споры 216
 Сравнительная анатомия 234
 Стрела времени 204
 Структура белка
 • вторичная 89
 • первичная 89
 • третичная 89
 • четвертичная 90

Структурный ген 153
 Суперпозиция волн 173

Т

Таксоны 25, 146
 Теория относительности 179
 Тепловое излучение 61
 Теплоход 5
 Теплота 181
 Термодинамика 182
 Техногенная цивилизация 34
 Тождественные частицы 75
 Точки бифуркации 209
 Траектория движения 162
 Транскрипция 153
 Трансляция 153
 Триплетность 152
 тРНК 91
 Трофический уровень 107

У

Уровень структурной организации 150
 Уровень энергии атома 68

Ф

Фазы фотосинтеза
 • световая 117
 • темновая 117
 Ферменты 90, 186
 Флогистон 134
 Флуктуации 208
 Фотолиз 117
 Фотон 66
 Фотосинтез 117
 Функции состояния системы 182

Х

Хемосинтез 118
 Химическая революция 136
 Хлоропласты 117
 Хромосома 97

Ц

Царство
 • Археи 151
 • Бактерии 151

• Грибы 150
 • Животные 148, 149
 • Монера 150
 • Протисты 150
 • Растения 148, 149
 Целостный подход 8
 Цепная реакция 195
 Цианобактерии 241
 Цитология 95
 Цитоплазма 95
 Цитоскелет 96

Ч

Частицы — переносчики взаимодействий 77
 Частота волны 174
 Человек прямоходящий (архантроп) 248
 Человек разумный 248
 Человек умелый 247
 Четырёхмерное пространство-время 179
 Численность популяции 103

Э

Эволюция 85, 232
 Экологические факторы 104
 Экосистема 87, 106
 Эксперимент 15
 Эктодерма 219
 Элемент 129
 Элементарные качества 130
 Элементарные частицы 77
 Эмбриология 234
 Эмбриональный период 219
 Эндоплазматическая сеть (ЭПС) 96
 Энергия 112
 Энтодерма 219
 Энтропия 182
 Эукариоты 94
 Эфир 23, 179
 Эффект Доплера 223

Я

Ядерная реакция 194
 Ядро клетки 97
 Ячейки Бенара 206

Введение	3
Глава 1. Структура естественно-научного знания: многообразие единства	
1. Естествознание как познавательная деятельность	4
2. Природа в зеркале науки	6
3. Естествознание в системе культуры	10
4. Критерии научного знания	12
5. Экспериментальные методы в естественных науках	14
6. Учимся наблюдать	16
7. Экспериментатор, прибор, результат	18
8. Великие эксперименты в естественных науках	22
9. Теоретические методы исследования	24
10. Учимся классифицировать и систематизировать	27
11. Моделирование в науке	30
12. Естествознание и религиозная традиция	33
13. Традиции и революции в естествознании	36
14. Эксперимент. Теория. Практика	39
Глава 2. Структуры мира природы: единство многообразия	
15. Масштабы Вселенной	44
16. Средства изучения микромира и мегамира	47
17. Дискретность и непрерывность в природе	50
18. Поле как способ описания взаимодействия	53
19. Фундаментальные поля как составляющие материи	56
20. Взаимодействие поля и вещества. Цвет и спектры	59
21. Дискретность и непрерывность: эксперимент	62
22. Квантовые (корпускулярные) свойства полей	64
23. Волновые (полевые) свойства частиц	67
24. Корпускулярно-волновой дуализм	70
25. Фундаментальные взаимодействия в микромире	72
26. Единство многообразия. Микромир	75
27. Единство многообразия. Мегамир	78
28. Солнечная система и планетарная модель атома	81
29. Единство многообразия. Биологические системы	84
30. Молекулярная структура живого	88
31. Белки и нуклеиновые кислоты	92
32. Клетка как структурная основа живых организмов	94
33. Разнообразие форм жизни	99
34. Популяции и процессы их регуляции	103
35. Принципы организации экосистем	106
36. Биосфера	110
37. Наиболее общие законы природы. Законы сохранения	112
38. Энергетика живой клетки	115
39. Единство природы. Симметрия	119
40. Симметрия в искусстве и науке	122
41. Материальное единство мира	124
Глава 3. От структуры к свойствам	
42. Древнегреческая атомистика: атомы и элементы	128
43. Второе рождение атомистики: корпускулярные теории	131
44. Химическая революция эпохи Просвещения	134
45. «Новая система химической философии» Джона Дальтона	137
46. Свойства веществ и классическая атомно-молекулярная теория	140
47. Периодический закон Д. И. Менделеева	142
48. Состав — структура — свойства	144

49. Биологическая систематика.....	146
50. Современные представления о многообразии живого	148
51. Как реализуется генетическая информация	152
52. Зависимость свойств объектов от структуры и состава — опыт искусства	155

Глава 4. Природа в движении, движение в природе

53. Движение как перемещение	160
54. Видимое движение планет.....	163
55. Причины механического движения. Детерминизм.....	166
56. Движение как распространение. Волны	169
57. Свойства волн	172
58. Звук и его характеристики	175
59. Движение, пространство, время и материя.....	178
60. Движение тепла	181
61. Движение как качественное изменение. Химические реакции...	184
62. Скорость химических реакций	187
63. Движение в живой природе	189
64. Движение как качественное изменение. Ядерные реакции	193
65. Формы и виды движения.....	196
66. Тайны движения через призму искусства.....	198

Глава 5. Эволюционная картина мира

67. Между порядком и хаосом.....	204
68. Самоорганизация. Причины и условия.....	207
69. Бифуркации и спонтанное нарушение симметрии	210
70. Самовоспроизведение живых организмов	214
71. Самоорганизация в развитии организмов	218
72. Рождение Вселенной.....	222
73. Образование галактик, звёзд, планетных систем.....	225
74. Эволюция звёзд и синтез тяжёлых элементов.....	228
75. Эволюция планеты Земля	230
76. Принципы эволюции живых организмов.....	232
77. Современные концепции биологической эволюции	236
78. Происхождение жизни на Земле.....	239
79. Развитие жизни на Земле	243
80. Эволюция человека.....	246
81. Формирование человека разумного	249
82. Коэволюция природы и цивилизации	252
Приложение. Маршруты самообразования.....	256
Предметный указатель.....	266

Учебное издание

Серия «Лабиринт»

Алексашина Ирина Юрьевна
Галактионов Кирилл Владимирович
Дмитриев Игорь Сергеевич
Ляпцев Александр Викторович
Соколова Ирина Ивановна
Ванюшкина Любовь Максимовна

Естествознание

10 класс

Учебник для общеобразовательных организаций
Базовый уровень

Редакция биологии и естествознания
Заведующий редакцией *З. Г. Гапонюк*
Ответственный за выпуск *Е. Е. Купцова*
Редакторы *З. Г. Гапонюк, Е. Е. Купцова, Л. Н. Кузнецова*
Художники *Е. А. Адамов, Н. А. Парцевская, И. О. Кабардин,*
К. В. Макаров, Д. В. Валенцова
Художественный редактор *Т. В. Глушкова*
Техническое редактирование
и компьютерная вёрстка *Е. В. Семериковой*
Корректоры *Н. В. Бурдина, О. В. Крупенко*

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции
ОК 005-93—953000. Изд. лиц. Серия ИД № 05824 от 12.09.01.
Подписано в печать 04.08.2021. Формат 84 × 108/16.
Гарнитура SchoolBookCSanPin. Уч.-изд. л. 20,25.
Тираж экз. Заказ № .

Акционерное общество «Издательство «Просвещение».
Российская Федерация, 127473, г. Москва, ул. Краснопролетарская, д. 16,
стр. 3, этаж 4, помещение I.

Адрес электронной почты «Горячей линии» — vopros@prosv.ru.