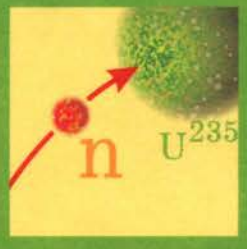
Российская академия наук
Российская академия образования
Издательство «Просвещение»

Академический школьный учебник

Естествознание

Лабиринт

ПРОСВЕЩЕНИЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО



10 класс

УДК 373.167.1:50
ББК 20я72
Е86

Серия «Академический школьный учебник» основана в 2005 году
Серия «Лабиринт» основана в 2004 году
Проект «Российская академия наук, Российская академия образования, издательство «Просвещение» — российской школе»

Руководители проекта:
вице-президент РАН акад. ***В. В. Козлов***,
президент РАО акад. ***Н. Д. Никандров***,
генеральный директор издательства «Просвещение» чл.-корр. РАО ***А. М. Кондаков***

Научные редакторы серии:
акад.-секретарь РАО, д-р пед. наук ***А. А. Кузнецов***,
акад. РАО, д-р пед. наук ***М. В. Рыжаков***, д-р экон. наук ***С. В. Сидоренко***

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

В создании книги приняли участие:
Горшкова Н. К., Кондратьева М. В., Струкова Р. Ю.

Учебник получил положительное заключение
Российской академии наук
и Российской академии образования в 2006 году

Е86 **Естествознание :** 10 кл.: учеб. для общеобразоват. учреждений : базовый уровень / [И. Ю. Алексашина, К. В. Галактионов, И. С. Дмитриев и др.] ; под ред. И. Ю. Алексашиной ; Рос. акад. наук, Рос. акад. образования, изд-во «Просвещение». — 2-е изд. — М. : Просвещение, 2008. — 270 с. : ил. — (Академический школьный учебник) (Лабиринт). — ISBN 978-5-09-018918-7.

УДК 373.167.1:50
ББК 20я72

ISBN 978-5-09-018918-7

© Издательство «Просвещение», 2007
© Художественное оформление.
Издательство «Просвещение», 2007
Все права защищены

Дорогие старшеклассники!

Естествознание — новый учебный предмет. Его отличие в том, что это интегрированный курс, т. е. объединяющий знания из разных предметных областей.

Обратите внимание на некоторые особенности нашего учебника.

Первая страница каждой главы специально оформлена. Здесь изображено то или иное художественное произведение и помещены вопросы, направленные на осмысление этого произведения, а также содержание главы.

Основное содержание главы отражает логику естественно-научного познания, а изображение вместе с вопросами к нему демонстрирует иной способ познания мира — художественное познание. Отнеситесь внимательно к этому диалогу культур. Может быть, наш учебник поможет определиться, какой из способов познания вам ближе.

Рядом с названием параграфа обозначен тип урока: урок-лекция, урок-семинар, урок-практикум, урок-конференция.

Урок-лекция содержит теоретический материал. Обратите внимание на структуру такого параграфа. Вы обнаружите несколько обязательных элементов текста (они есть и во всех остальных типах уроков). Это **эпиграф,** содержание которого позволяет лучше понять смысл учебной информации.

?

Проблемные вопросы, предложенные вам, определяют логику изложения материала параграфа.

Ключевые слова — Эти слова специально выделены в отдельную рубрику. При первом своем появлении в тексте они будут выделены **жирным шрифтом**.

*Из **старого** портфеля* — Эта рубрика ориентирует на те знания, которые вы уже получили в учебных курсах основной школы и которые важны для понимания новой информации.

В эту рубрику выделены все выводы в тексте. — *В **новый** портфель*

??

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

К **уроку-семинару** необходимо готовиться самостоятельно, используя указанную литературу.

Урок-практикум оформлен как серия заданий, которые выполняются в ходе урока с помощью рубрики ***ПОДСКАЗКА***.

В ходе **урока-конференции** слушают и обсуждают сообщения по определенной теме. Для подготовки каждого сообщения в тексте учебника предлагается необходимая литература, а иногда и задание, выполнение которого позволит раскрыть обсуждаемый вопрос глубже.

Рубрика **«Образ жизни»** указывает, какие сведения параграфа можно использовать в повседневной жизни.

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

Маршруты самообразования — алгоритм написания реферата.

Предметный указатель поможет оперативно ориентироваться в учебнике при поиске нужной информации.

Авторы

Глава 1

СТРУКТУРА ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНОГО ЗНАНИЯ: МНОГООБРАЗИЕ ЕДИНСТВА

ОБРАЗ И МЫСЛЬ

Питер Брейгель Старший (1528/1530 – 1569)
Вавилонская башня (1654). Музей Бойманса ван Бенингена, Роттердам

- Рассмотрите иллюстрацию и попытайтесь кратко описать сюжет произведения. Как вы считаете, какая известная библейская притча послужила художнику основой для создания картины?
- Порассуждайте, о чем хотел сказать художник зрителям, обращаясь к сюжету этой притчи. Как он дает это понять?
- Как вы думаете, почему авторы учебника поместили именно это изображение перед главой, рассказывающей о многообразии единства структуры естественно-научного знания?

ПРЕАМБУЛА:

Как говорил французский философ Рене Декарт, для познания мира нужен правильный метод.

В естествознании методы часто определяют различные стадии исследования. Например, эксперимент, обработка эмпирических (приобретенных в ходе практических исследований) данных, построение научных теорий и их проверка, изложение научных результатов. Содержание научного метода образуют и научные теории, проверенные практикой. Они могут выступать в качестве метода в последующих исследованиях.

В выборе методов исследования важную роль играют мировоззрение, философские взгляды исследователя. Пусть приведенные в этой главе понятия пока кажутся вам сложными, наш курс поможет вам разобраться в них, а главное — осознать и научиться применять некоторые исследовательские методы естественных наук как в обучении, так и в практике вашей жизни.

1 ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ КАК ПОЗНАВАТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Урок-лекция

Лучше подвергнуть долгому испытанию однажды открытую истину, чем допустить легкомысленное признание всего, что создается пылким воображением человека.

Ж.-Б. Ламарк

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

Ключевые слова Естествознание • Наука как познавательная деятельность

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.).

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, главным приоритетом которого является получение нового **знания**. Науку интересуют самые разнообразные предметы и явления. Она изучает природу, человека, общество, культуру и даже самое себя. Но это не значит, что наука берется за решение любых вопросов. На каждом этапе своего развития наука задается определенным набором вопросов, тогда как другие остаются вне ее поля зрения и рассматриваются как запрещенные. 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, дает закон Ома, но вопрос «Зачем существует закон Ома?» не является научным.

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 чем они спорят?

Рафаэль Санти.
Афинская школа (фрагмент)

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

Разумеется, человек получает знания о мире не только в результате научных исследований. Многое мы узнаем из произведений литературы и искусства, фи-

лософских трактатов, а также из обыденной жизни. Вопреки широко распространенному мнению, «истинное» и «научное» — совсем не одно и то же. С одной стороны, вы можете иметь истинное знание, но оно не обязательно 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, истинным 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 об особой тонкой материи («флюиде») Эта материя, переносящая тепло, была названа *теплородом*. И хотя к середине девятнадцатого столетия теплородная теория стала фактом истории науки, с ее 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 там используют научные достижения и проводят специальные научные исследования (в юриспруденции или в военном деле). Так, например, в искусстве на первом плане стоит отношение художника к реальности, а не отображение ее 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 дает не сумму знаний о мире, а *систематизированное знание*. Иными словами, научное знание — это не груда отдельных фактов, наблюдений и закономерностей. Научное знание определенным образом организовано. Оно включает в себя 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 имеет тенденцию к *устранению* из него всякой *субъективности*, связанной со спецификой личности ученого, его мировоззрением, его предпочтениями и вкусами.

6. Наука исходит из того, что *все 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, не одинаковы. Различна степень математизации разных наук.

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

??

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

Научную деятельность отличают следующие особенности:

- цель науки — получить знания о мире;
- научные данные должны быть: объективны, обоснованны, доказуемы, систематизированы, открыты для обсуждения и воспроизводимы.

В ***новый*** *портфель*

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 • Природа как объект естествознания • Редукционизм • Целостный подход • Математизация • 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 ученого-естественника, но и писателя, художника, фотографа, да и вообще любого человека. Каждый может любоваться небом и закатом. Но профессиональный интерес ученого-естественника отличается от взгляда простого созерцателя. Его, ученого, 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 определенным углом зрения, считая этот мир естественно упорядоченным и закономерным.

В ***новый*** *портфель*

В разное время слово «природа» понималось по-разному. К примеру, английский ученый 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 русский поэт 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 приведенных взглядов на природу (или, может быть, какой-то иной) более близок вам и почему?

Федор Васильев. Перед грозой

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

СУЩЕСТВУЮТ ЛИ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ НАУКИ-ЛИДЕРЫ? Современное естествознание — система сложная, неоднородная и многоплановая. Традиционно выделяют некоторую совокупность наук, составляющих основу естествознания, их классификация находится в постоянной динамике. 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. Свое приоритетное положение в естествознании физика утвердила еще 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 ее 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. Их позицию в поэтической форме выразил И. Гете:

Во всем подслушать жизнь стремясь,
Спешат явленья обездушить,
Забыв, что если в них нарушить
Одушевляющую связь,
То больше нечего и слушать.

Сегодня большинство ученых 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.

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

В новый портфель

Успехи биологии были связаны не только с развитием методов исследования (например, рентгеноструктурный анализ привел 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. Например, 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).

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

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

Система состоит из отдельных частей, однако груда деталей (например, часовой механизм) еще 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 (и не только естественных). Особенность математики заключается в том, что она анализирует определенные 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).

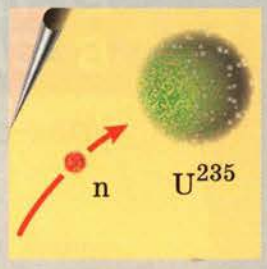
Как видно на рисунке, в результате процесса образуются три (иногда два) новых нейтрона, которые, сталкиваясь с другими ядрами урана, в свою очередь, могут вызвать деление их ядер. Допустим, что такое деление происходит через время Δt после образования этих нейтронов. Попробуем вычислить, как со временем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

время $t = n\Delta t$ с начала деления число ядер будет определяться выражением $N(t)=3^{t/\Delta t}N_0$. Такой закон возрастания со временем 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 дает потомство из шести детенышей. Допустим, что время жизни животного после рождения детеныша 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 (см. § 34).

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 создается впечатление, что математические уравнения, по выражению Г. Герца, мудрее, чем мы.

Математика дает 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 его использования в данной области.

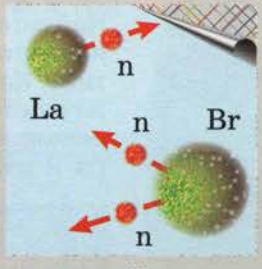


а

б

в

г



д

Рис. 1
Деление ядра урана

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*

??

- 1. Решите задачу о росте числа животных в популяции (см. с. 11) при условии, что после рождения детенышей животные живут столько же лет, сколько и до рождения, но уже не рождая новых детенышей.
- 2. Согласны ли вы с утверждением, что наука началась, когда человек перешел 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 гуманитарию 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. Взаимовлияние науки и искусства.
3. Проблема нравственности в науке.

Необходимые источники информации

1. Фейнберг Е. Л. Две культуры. Интуиция и логика в искусстве и науке/ Е. Л. Фейнберг. — М.: Наука, 1992.
2. Алексеев П. В. Наука и мировоззрение/П. В. Алексеев. — М.: Сов. Россия, 1987.
3. Библер В. С. От наукоучения к логике культуры. (Два философских введения в XXI век)/В. С. Библер. — М.: Политиздат, 1990. — С. 413.

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 определение этих понятий в словарях. Обсудите, какие из них являются наиболее широкими. Есть ли разночтения в определении 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 энциклопедический словарь. — М.: Советская энциклопедия, 1983.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 2 Великий Гомер в «Одиссее» так точно описал звездное небо, что по его поэме можно решать астрономические задачи.

Радостно парус напряг Одиссей и, попутному ветру
Вверившись, поплыл. Сидя на корме и могучей рукою
Руль обращая, он бодрствовал; сон на него не спускался.
Очи, и их не сводил он с Плеяд, с нисходящего поздно
В море Воота, с Медведицы, в людях еще Колесницы
Имя носящей, и близ Ориона свершающей вечно
Круг свой, себя никогда не купая в водах Океана.
С нею богиня богинь завещала ему неусыпно
Путь соглашать свой, ее оставляя по левую руку...

Трудно поверить, но по этому описанию плавания Одиссея от нимфы Калипсо к острову Схерия с помощью звездной карты можно определить, в какое время года, в каком месяце и в каком направлении совершал Одиссей этот путь.

Решите эту задачу Гомера. Используйте звездную карту. Определите, в каком направлении плыл Одиссей, если видел заходящим созвездие Волопаса (Воота) и смотрел на Плеяды.

Дополнительные источники информации

Воронцов-Вельяминов Б. А. Сборник задач и практических упражнений по астрономии / Б. А. Воронцов-Вельяминов. — М.: Наука, 1977.

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, 1998.
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. — Л.: Наука, 1984.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 4

Обсудите проблему нравственности в науке. Приведите примеры сложных с точки зрения общечеловеческой нравственности ситуаций, находящихся 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.: Наука, 1990.

ПОДВЕДЕНИЕ ИТОГОВ

Наука и искусство различаются методом постижения мира — рассудочным или чувственным, в большей степени логическим или образным. Они сливаются воедино в исторически определенной **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 прочтешь 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 звездной карты, как строятся предсказания астрологов. Верны ли они сегодня? На какой астрономической базе построена астрология?

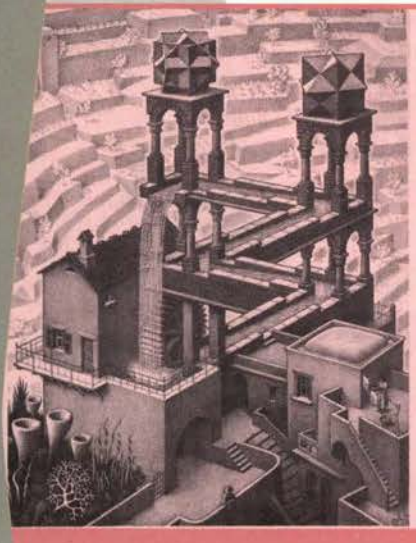
Оборудование: карта звездного неба с накладным кругом.

ПЛАН РАБОТЫ Последовательно выполните задания и сделайте 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 рожденных под разными знаками зодиака.
Читающий не называет знаки зодиака, о которых идет речь, и изменяет привычный порядок следования созвездий в этом гороскопе.
Во время чтения отметьте по 10-балльной шкале, насколько черты, приписываемые рожденному под каждым зодиакальным знаком, соответствуют вашим чертам характера. Затем читающий перечисляет порядок знаков зачитанного гороскопа. Выясните, у скольких человек в классе совпали их знак зодиака и предсказание, приписываемое этому знаку. 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?

Мориц Эшер. Водопад

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

Оформление результатов

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

2. Найдите на звездной 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 Международной астрономический съезд определил современные границы созвездий, несколько «перекроив» небо. Теперь на звездном небе 88 созвездий.

Оформление результатов

Запишите названия зодиакальных созвездий, укажите «лишнее».

3. Определите по звездной 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 звездной карты дату вашего рождения. Соедините ее 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 1/12 часть эклиптики. Отсчет 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 в отличие от других видов знания должна отвечать ряду критериев научного знания, среди которых предсказательная сила, верифицируемость (проверяемость на практике), системность и согласованность результатов. Пути астрологии и астрономии разошлись еще в начале нашей эры. Окончательный разрыв произошел в XVII в., когда сформировалась методология естественных наук. В соответствии с одним из положений этой методологии научные предсказания должны обладать верифицируемостью, и только проверка опытом позволяет судить о научности предсказаний.

Дополнительные источники информации

1. Шевченко М. Ю. Школьный астрономический календарь на 2005/06 учебный год / М. Ю. Шевченко. — М.: Дрофа, 2005.
2. Вронский С. А. Астрология: суеверие или наука? / С. А. Вронский. — М.: Наука, 1990.
3. Электронный учебник по астрономии «Открытая астрономия «2.5.» ООО «Физикон».
4. www.college.ru (astronomy)

ОБРАЗ ЖИЗНИ К псевдонауке относятся также различные виды знахарства. Лечение знахарем может оказаться не таким безобидным, как астрологические прогнозы. В цивилизованных странах лечение, осуществляемое людьми, не имеющими 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.). Карта — модель земной поверхности. Картографирование (География, 6 кл.).

НАБЛЮДЕНИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТ. Экспериментальные методы — основа естествознания. Наблюдательность, несомненно, помогает нам в повседневной жизни, учебе. Это важное качество определяет число и характер увиденных и отмеченных нами деталей при знакомстве с различными явлениями и в конечном счете объем материала, почерпнутый 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 чем-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 проходит. Важная особенность состоит в том, что сам наблюдатель не вмешивается в ход наблюдаемого процесса.

Исследователь знает, ради 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 ведется журнал наблюдений, где записывают все особенности происходящих процессов и их условия. Впоследствии часто приходится снова и снова возвращаться к этим описаниям. Журналы наблюдений должны долго храниться, они становятся материалом для сравнения результатов разных исследователей. Наблюдение дает ма-

Примеры научных наблюдений:
— наблюдения астронома за движением планет;
— наблюдения биолога за ростом растений в естественных условиях;
— наблюдения метеоролога за погодой в данной местности.

териал 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 путем 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 четко 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 измененных условиях. Результаты и условия эксперимента строго фиксируют и описывают.

Примеры научных экспериментов:
— эксперимент Резерфорда «Бомбардировка α-частицами тонкой золотой фольги с целью установления строения атома»;
— эксперименты И. П. Павлова по исследованию механизмов образования условных рефлексов.

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

Примером последовательности гипотез, ускоривших экспериментальное решение вопроса о строении атома, являются выдвинутые в начале XX в. модели атома:
— планетарная;
— томсоновская («пирог с изюмом», где положительный разлитый по объему атома заряд — это «пирог», а электроны — вкрапленный в него «изюм»);
— атом Бора с переходами электронов с одного дискретного энергетического уровня на другой.

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 могут позволить рассчитать параметры объектов или характеристики процессов. Например, объем куба можно рассчитать, измерив его ребро, а скорость равномерно движущегося автомобиля можно оценить, зная путь и время, за которое он пройден.

При обработке результатов измерений всегда нужно оценивать:
— с какой точностью вы измеряете, какую ошибку дает ваш прибор;
— как влияет сам процесс измерения на объект, который вы измеряете.

Можно ли измерить неизмеримое? Например, с помощью обыкновенной линейки определить размер клетки растения или атома? Вы скажете: «Вряд ли». Тем не менее данные о параметрах этих объектов микромира вы можете найти в справочниках. Как же они были измерены? Клетку размером в 10^{-3} мм можно рассмотреть и измерить с помощью оптического микроскопа; молекулы белков и ДНК, размеры которых имеют порядок 10^{-5}, — с помощью электронного микроскопа. Здесь важно, чтобы длина волны излучения, которое используют в измерении, была сравнима с исследуемым объектом или меньше его. А размеры атома, ядра атома или элементарных частиц определяют по косвенным данным, например с помощью электронного микроскопа.

Измерить величину — это значит сравнить ее с эталоном, с единицей измерения.

В новый портфель

??

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

Литература для дополнительного чтения

1. Капица П. Л. Эксперимент. Теория. Практика / П. Л. Капица. — М.: Наука, 1991.
2. Возникновение и развитие химии с древнейших времен до XVIII века. (Всеобщая история химии) / отв. ред. Ю. И. Соловьев. — М.: Наука, 1980.
3. Сухотин А. Превратности научных идей/А. Сухотин. — М., 1991.

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.).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ Научиться проводить наблюдения и выдвигать гипотезы.

ПЛАН РАБОТЫ Последовательно выполните задания.

1. Найдите в литературе и 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.

Какой важный этап в изучении природы путем наблюдения зафиксировал художник?

Д. Крети.
Астрономические наблюдения

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

2. О значении наблюдаемых фактов для формулировки гипотезы ярко свидетельствует отрывок из повести французского философа-просветителя XVIII в. Вольтера, которая носит название «Задиг, или Судьба». Вспомните примеры такого рода 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 трех 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 слыхал о нем».

Задига обвинили в краже лошади царя, и он еще 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 трех с половиной футах от середины дороги. У этой лошади, подумал я, хвост трех с половиною футов длиной: в своем движении направо и налево он смел 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 потерлась 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 пришел к заключению, что ее 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. Однако значительно чаще приходится платить за ложную гипотезу, которая при проверке не подтверждается.

3. Выбор условий эксперимента.

В 1990 г. проводилось международное сравнительное исследование качества обучения школьников по «Естествознанию».

Среди этих заданий был следующий тест. 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 позволят это сделать (рис. 2).

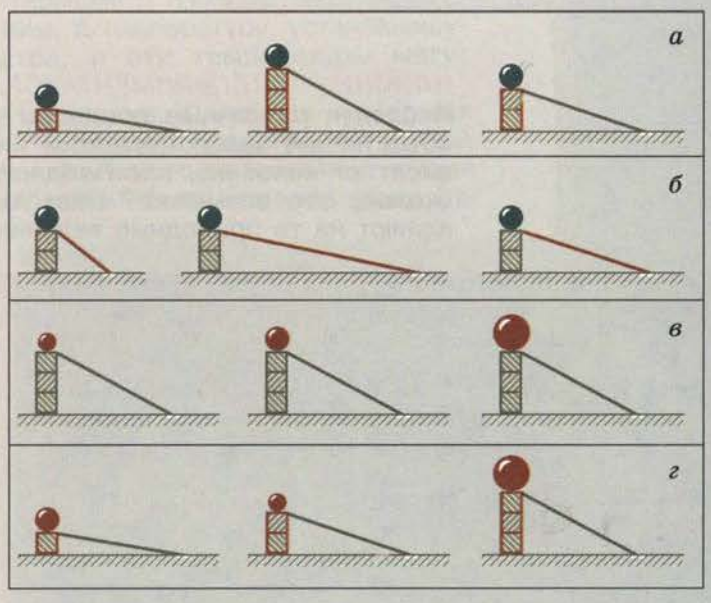


Рис. 2

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.

ОБРАЗ ЖИЗНИ Многие животные и растения предчувствуют изменения погоды. Систематические наблюдения за поведением животных и растений и связь этого поведения с изменением погоды позволят вам 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 даем промах, а если и попадаем в точку, то размазываем ее 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 при помощи 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, ученые стараются выделить объективные закономерности, т. е. такие характеристики, которые не зависят от человека, производящего наблюдения или эксперименты. Насколько это возможно? Насколько наши наблюдения, наши измерения влияют на те природные явления, которые мы исследуем?

На этой 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?

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

Еще сложнее исследовать внутренние органы живых организмов. Любое вмешательство неизбежно изменяет их работу, фактически мы будем исследовать уже другие органы. Ученые, правда, могут заглядывать внутрь организма, используя рентгеноскопию и ультразвуковое зондирование. Но 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 отдает тепловую энергию более холодному. В результате температура горячего тела убывает, а температура холодного возрастает. Поскольку масса термометра и масса пробирки с водой имеют один и тот же порядок величины, изменение температуры термометра и изменение температуры воды оказываются сравнимыми. Таким образом, термометр измеряет не температуру воды, которая была до контакта с ним, а температуру, установившуюся после контакта воды и термометра, 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 при помощи 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? Погруженный в жидкость манометр вытесняет воду, а следовательно, ее уровень в стакане поднимается. Но давление определяется высотой столба жидкости, а значит, давление у дна стакана при таком измерении возрастает. Если объем манометра сравним с объемом стакана, то мы измерим совсем не то, что хотели. Обратимся теперь к процессу измерения расстояния. Казалось бы, в

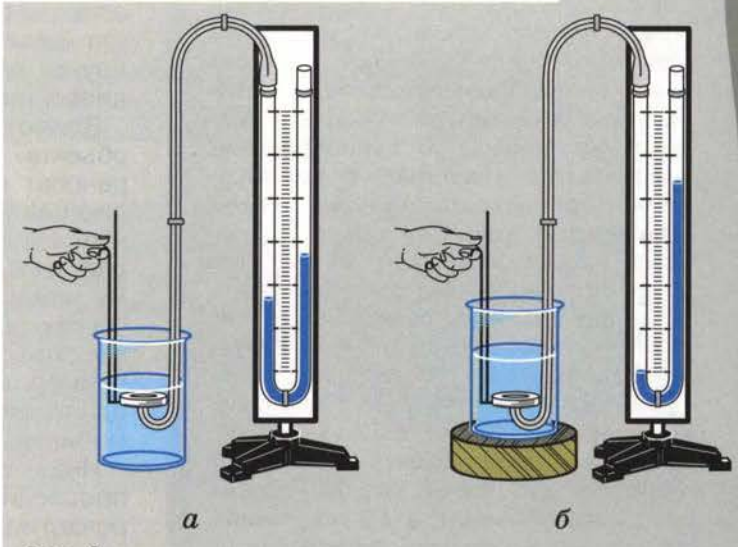


Рис. 3
Измерение давления манометром

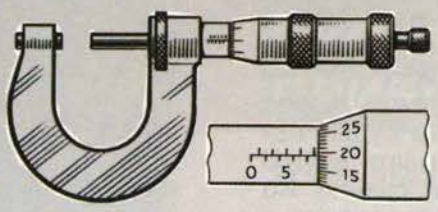


Рис. 4
Микрометр — прибор для точных измерений

этом случае мы никак не влияем на объект, размеры которого измеряем. Рассмотрим процесс измерения толщины проволоки прибором микрометром (рис. 4). Процесс измерения очень прост. Закручивая микровинт, мы прижимаем губки микрометра к проволоке и по шкале считываем толщину проволоки. Но при этом мы неизбежно сдавливаем, а следовательно, деформируем проволоку. Ее 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. Приведенные примеры показывают, что при любых измерениях необходимо учитывать искажения, вносимые приборами. Как сделать эти искажения ничтожно малыми? Проблема во всех выше приведенных примерах чисто техническая, а не физическая. При постановке задачи любого измерения необходимо оценивать искажения и создавать приборы, вносящие пренебрежимо малые искажения. 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.

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

В ***новый*** *портфель*

Вернемся к примеру с измерением толщины стебелька одуванчика. Чтобы определить эту величину, вовсе не обязательно сжимать стебелек. Достаточно сделать хорошую фотографию и провести измерение по этой фотографии. При таком подходе мы, казалось бы, совершенно не влияем на стебелек. То же самое характерно для любых визуальных измерений расстояний. Все подобные эксперименты 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 радиоприемник радиолокатора принимает волну, отраженную 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 расчет расстояния. Произведя такие действия в два близких момента времени, мы можем определить скорость объекта по обычной формуле: $\upsilon = \Delta S/\Delta t$, где Δt — время между измерениями, а ΔS — величина, на которую изменилось расстояние до объекта за это время.

Влияют ли такие измерения на движения 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 мало. 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 мы захотим проследить подобными методами 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 дает **квантовая теория** — теория, изучающая процессы в микромире. Некоторые положения этой теории вы изучали в курсе физики.

Квантовая теория утверждает, что 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 этого, в частности, следует, что бессмысленно говорить об орбите электрона в атоме. Это модельный образ. У нас просто нет (и не может быть) средств, чтобы проследить за движением электрона по орбите.

Все 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.

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*

Согласно квантовой теории любая 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 положения следует, что импульс волны (с заданной длиной) нельзя сделать сколь угодно малым, минимальный импульс волны — это импульс одного фотона. Размер атома имеет порядок величины 10^{-10} м, поэтому необходима волна с длиной меньше чем 10^{-11} м. Учитывая, что постоянная Планка в системе СИ имеет порядок величины 10^{-33}, получим, что соответствующий фотон имеет импульс порядка 10^{-22}. (Для сравнения: автомобиль массой 500 кг, движущийся со скоростью 72 км/ч, имеет импульс 10^4.) Электрон в атоме, обладая малой массой, имеет импульс по порядку величины как раз равный 10^{-22}. 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.

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 ее ионами тяжелых металлов, вредных для здоровья.

??

- Почему сложно проводить наблюдения за живыми организмами в природе?
- В древние времена моряки измеряли скорость судна, бросая в воду лот, привязанный к веревке с узлами, следующими через одинаковые расстояния. При движении судна веревка 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?

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 приемника, 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 животного 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 **клеточная дифференцировка**.

А вот долго ли сохраняется в ядре клетки информация о целом организме? Это только свойство ядра яйцеклетки? Или же ядра дифференцированных клеток (например, кишечного эпителия или кожи) также несут эту информацию в полном объеме? Ответ на эти вопросы могли дать только эксперименты. Первым подошел к решению этой задачи один из основателей экспериментальной эмбриологии немецкий ученый Ханс Шпеман. Проведенный им эксперимент показал, что на начальной стадии деления яйцеклетки, по крайней мере до стадии 16-клеточного зародыша, каждая клетка зародыша несет всю информацию, заключенную в исходной яйцеклетке. Дальнейшие опыты, связанные с именами ученых Т. Кинга, Р. Бригса, Дж. Гёрдона, доказали, что ядра дифференцированных клеток способны сохранять в полном объеме ту информацию, которая содержится в яйцеклетке, т. е. информацию об организме в целом.

Таким образом, еще в 50—60-е гг. XX в. стало понятно, что имеется принципиальная возможность клонирования организмов. Для этого из яйцеклетки одной животной особи удаляют ее родное ядро, а затем пересаживают в нее ядро клетки

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

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

любой ткани взрослого организма другой особи того же вида. Однако на практике все оказалось не так просто, и только сейчас ученые вплотную подходят к разработке приемов клонирования таких сложных биологических систем, как млекопитающие, включая и человека.

Источники информации

1. Биология: Большой энциклопедический словарь / гл. ред. М. С. Гиляров. — М.: Большая российская энциклопедия, 1998.
2. Белоусов Л. В. Введение в общую эмбриологию / Л. В. Белоусов. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980.

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 назвали **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. ученый Джеймс Максвелл. Уникальный эксперимент, позволяющий проводить измерения с такой точностью, был осуществлен в 1887 г. учеными Альбертом Майкельсоном и Эдвардом Морли. Он основывался на явлении интерференции волн. Эксперимент дал результат очень высокой точности. Он оказался уникальным еще 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.

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

*В **новый** портфель*

Источники информации

1. Гарднер М. Теория относительности для миллионов / М. Гарднер. — М.: Атомиздат, 1965.
2. Мякишев Г. Я. Физика: учеб. для 10 кл. / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев. — М.: Просвещение, 2001.
3. 1С:Репетитор. Физика. — М.: 1С, 2003.

СООБЩЕНИЕ 3

Опыт Резерфорда — определение структуры атома.

Опыт заключается в бомбардировке атома α-лучами (ядрами атома гелия). По отклонению α-лучей при прохождении золотой фольги 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. Кабардин О. Ф. Физика: справочные материалы: пособие для учащихся / О. Ф. Кабардин. — 3-е изд. — М.: Просвещение, 1991.
2. Крицман В. А. К тайнам строения вещества / В. А. Крицман, Б. Я. Розен, И. С. Дмитриев. — Минск: Вышейшая школа, 1983.
3. Открытая физика 2.5. Ч. 2. — М.: Физином, 2003.

9 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Урок-лекция

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

Г. В. Лейбниц

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

Ключевые слова 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 со светильником, освещающим путнику дорогу в темноте: «Даже хромой, идущий по дороге, опережает того, кто идет без дороги». Правильно выбранный метод должен быть ясным, логичным, вести к определенной 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 исследования, а после проведения эксперимента необходима обработка результатов с использованием математических методов. Рассмотрим особенности некоторых теоретических методов познания.

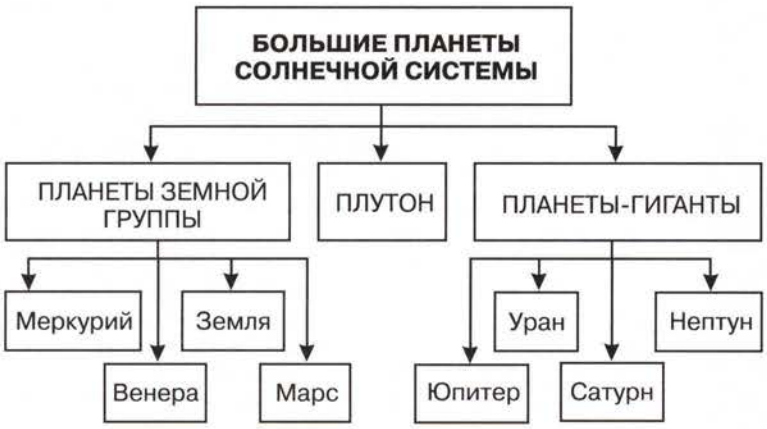
Например, всех учеников старших классов школы можно разделить на подклассы — «девушки» и «юноши». Можно выбрать и другой признак, например рост. В этом случае классификацию возможно проводить по-разному: например, выделить границу роста 160 см и классифицировать учеников на подклассы «низкие» и «высокие»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

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

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. Например, 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 — нелетучие; растворимые — 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 их 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:



Обратите внимание на то, что планета Плутон в этой классификации представляет отдельный подкласс, не принадлежит ни к планетам земной группы, ни к планетам-гигантам. Это карликовая планета. Ученые отмечают, что Плутон по свойствам похож на астероид, каких может быть много на периферии Солнечной системы.

При изучении сложных систем природы классификация служит фактически первым шагом к построению естественно-научной теории. Следующим, более высоким уровнем является систематизация (систематика). Систематизация осуществляется на основе классификации достаточно большого объема материала. При этом выделяют наиболее существенные признаки, позволяющие представить накопленный материал как систему, в которой отражены все различные взаимосвязи между объектами. Она 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 ученые находят новый вид, то они должны подтвердить его место в общей системе. Могут быть внесены изменения и в саму систему, которая остается развивающейся, динамичной. Систематика позволяет легко ориентироваться во всем многообразии организмов — только животных известно около 1,5 млн видов, а растений — более 500 тыс. видов, не считая другие группы организмов. Современная биологическая систематика отражает закон Сент-Илера: «Все многообразие форм жизни формирует естественную таксономическую систему, состоящую из иерархических групп таксонов различного ранга».

Портреты Ф. Бэкона и В. Ливанова в образе Ш. Холмса
Почему портреты ученого и 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 счет 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 путем выведения умозаключений от общего к частному, перехода от предпосылки к следствиям. Этот метод называют **дедукцией**. Его развивал Рене Декарт — французский философ и ученый.

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

В реальной исследовательской деятельности методы научных исследований взаимосвязаны.

В ***новый*** *портфель*

??

- 1. 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 Вовнарта: «Ум не заменяет знания»? Ответ обоснуйте.

10 УЧИМСЯ КЛАССИФИЦИРОВАТЬ И СИСТЕМАТИЗИРОВАТЬ

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.

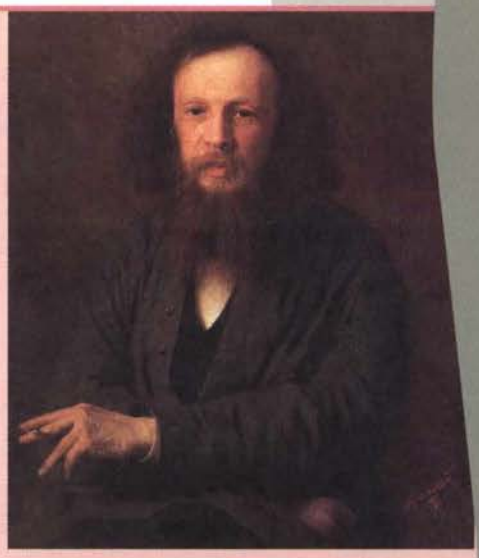
1. Проанализируйте текст. Для этого вам нужно мысленно определить в тексте предмет — существенное. Выделить, расчленить его на составные части, чтобы найти отдельные элементы, признаки, стороны этого предмета.

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 ученым 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, с равной частотой 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, желтого и розового цвета.

Жизнь сгустка электрической плазмы по истине мотыльковая, как правило в пределах пяти секунд. Дольше этого срока, но не более 30 с, ее видело до 36 % очевидцев. Почти всегда и кончина ее была одинаковой — она самопроизвольно взрывалась, иногда натыкаясь на



Иван Крамской. Д. И. Менделеев

Чьими портретами ученых-систематизаторов вы бы дополнили этот ряд?

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

различные препятствия. «Коллективные портреты», сделанные наблюдателями разных времен и народов, совпали».

Если вы, прочитав текст, сумели ответить на вопросы, о чем говорится в тексте, каковы основные признаки, элементы, стороны, свойства предмета рассуждений, значит, вы провели его анализ. В данном случае предметом, основным содержанием текста является представление о шаровой молнии. Свойства шаровой молнии — ее 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 мыслями текста). 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 ее в группы, показать связи между этими группами.

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

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

1. Каковы особенности распределения температур по месяцам в разных городах? Чем различаются эти распределения?
2. В чем 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

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

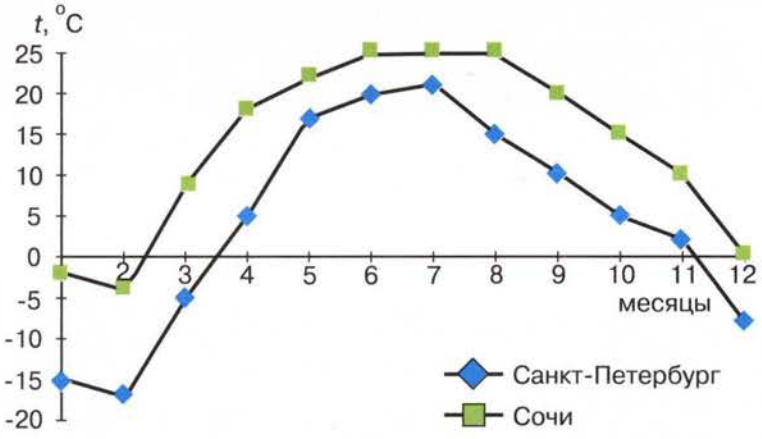


Рис. 5
График хода среднемесячных дневных температур за один год для Санкт-Петербурга и Сочи

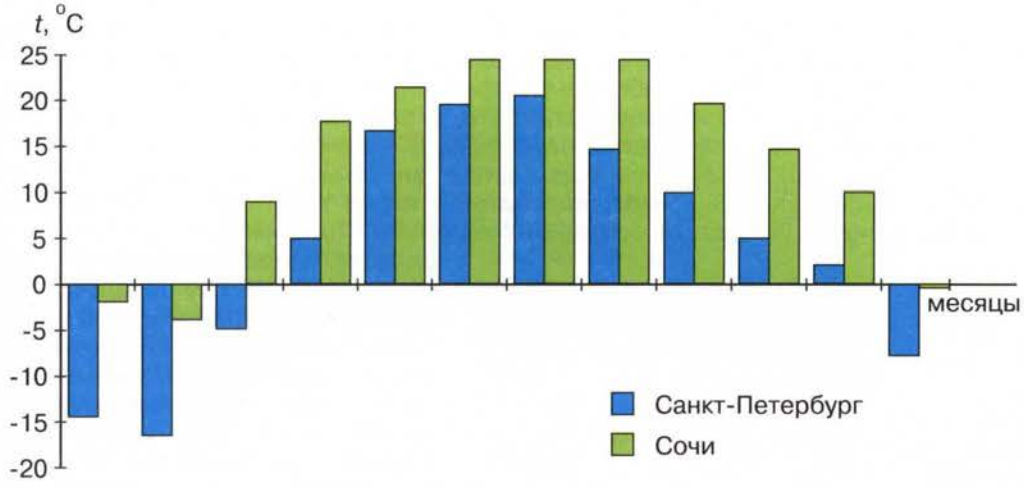


Рис. 6
Диаграмма: среднемесячные дневные температуры за один год в городах Санкт-Петербург и Сочи

Литература для дополнительного чтения

1. Эйнштейн А. Без формул / А. Эйнштейн; сост. К. Кедров; пер. с англ. — М.: Мысль, 2003.
2. Методология науки и научный прогресс. — Новосибирск: Наука, 1981.
3. Фейрабенд П. Избранные труды по методологии науки / П. Фейрабенд. — М.: Прогресс, 1986.

Важными ступенями к овладению методами научного познания являются:
1. Логический анализ текста.
2. Составление плана, схем, выделение структуры материала.
3. Конспектирование текста или написание тезисов.
4. Выделение нового знания и его использование в дискуссиях, выступлениях, в решении новых задач, проблем.

В ***новый*** *портфель*

11 МОДЕЛИРОВАНИЕ В НАУКЕ

Урок-лекция

Есть шестьдесят девять способов сочинять песни племен, 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 Материальные модели • Теоретические модели • Математические модели

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 материальных моделях технических устройств, агрегатов, механизмов (например, модель самолета или модель автомобиля). Сейчас слово «модель» широко употребляют в качестве еще одного значения — образец (например, топ-модель). Понятие «моделирование» также получило более широкое толкование — искусство создания чего-либо (например, моделирование одежды, моделирование взаимоотношений между людьми). Что же такое моделирование в науке?

Модель Солнечной системы из книги И. Кеплера «Космографическая тайна»
Планетарные орбиты представлены вложенными друг в друга правильными многогранниками (куб, тетраэдр, пирамида и т. д.)

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

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.

Приведем 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 обра-

зоваться застойные зоны — искусственные болота, аккумулирующие грязь, идущую с водами Невы. Была построена 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, законах, которым подчиняются все объекты природы?

В конце XVI в. астрономом И. Кеплером были сформулированы законы, описывающие движения планет Солнечной системы. Эти законы были установлены эмпирически, т. е. на основании наблюдения за движением планет.

Недостатком эмпирических законов является то, что они не объясняют причину явления, а только констатируют факт. Объяснение кеплеровским законам было дано 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, когда на основе известных законов путем некоторых обоснованных допущений и приближений формулируется достаточно просто решаемая задача, очень часто используют в науке. При необходимости можно попробовать уточнить модель, учтя 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

Фактически, решая любую школьную задачу, в которой говорится о реальном, а не идеализированном процессе, вы занимаетесь моделированием. Приведем пример такой задачи. Требуется найти минимальный тормозной путь автомобиля, движущегося со скоростью $\upsilon = 72$ км/ч, если коэффициент трения между дорогой и шинами колес $\mu = 0{,}3$. Ваших знаний физики должно хватить для решения этой задачи; мы приведем лишь ответ: $S = \upsilon^2/(2\mu g) \approx 70$ 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 колесах работают одинаково, что сила давления автомобиля на каждое колесо одна и та же;
- пренебрегаете силой воздействия воздуха на автомобиль при движении, инерцией вращения колес автомобиля (кинетической энергией вращательного движения колес).

Все эти приближения следует обосновывать и численно оценивать погрешности, вносимые каждым из них.

Все естественно-научные законы — это модели, применимые для описания широкого класса явлений и процессов, происходящих в природе. Каждый естественно-научный закон имеет границы своего применения. Существует определенная иерархия законов: одни законы являются частными случаями других, т. е. могут быть выведены из них при определенных приближениях и допущениях.

В ***новый*** *портфель*

при определенных 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 видно конца. Пока еще не получены какие-либо абсолютные законы, описывающие все 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.

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 V, позволяют продвинуться в понимании процессов, происходящих 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 Ч. Дарвина в биологии, которая является качественной теоретической моделью сложного процесса эволюции живой природы.

С развитием компьютерной техники появился термин «компьютерное моделирование». Фактически это то же математическое моделирование, дополненное мощными вычислительными средствами, а также возможностью визуализации и интерактивного управления процессами. Примерами такого моделирования являются динамические 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 еще 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.

??

- ▷ Пользуясь справочной литературой, 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.

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

В ***новый*** *портфель*

12 ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ И РЕЛИГИОЗНАЯ ТРАДИЦИЯ

Урок-лекция

Наука без религии неполноценна, а религия без науки слепа.
А. Эйнштейн

?

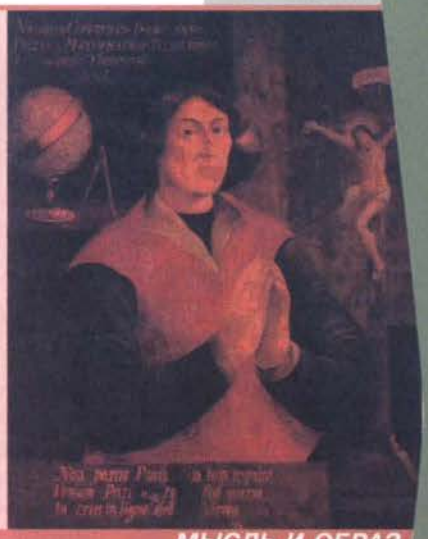
Какова роль христианской традиции в формировании науки в Европе в начале Нового времени? Отношение к познанию природы в восточно- и западнохристианской традициях. Почему необходим диалог между наукой и религией?

Ключевые слова Техногенная цивилизация и ее базовые ценности • Культурные и религиозные традиции в познании природы • Место религии в культуре Нового времени • Естествознание Нового времени

РАЗВИТИЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И КУЛЬТУРНЫЕ ТРАДИЦИИ. Естествознание развивалось в различных культурах и цивилизациях. Непреходящий вклад в познание природы внесли философы и ученые 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 все же достижения европейских ученых — 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 ученого 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

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



Неизвестный художник. Николай Коперник

говорят о том, чего там нет, то они вредны. Разумеется, отдельный ученый 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 определенная система ценностей. Например:

— человек не пассивный созерцатель происходящего вокруг него, он активно изучает и преобразует мир;

— природа — это множество объектов и явлений, подчиняющихся определенным 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 ведет к прогрессу.

Данная система основных идей и ценностей является своего рода «генетическим кодом» техногенной цивилизации, во многом определяющим пути ее 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. Сотворенный по образу и подобию Бога, человек занимает особое, центральное место, а природа предназначена для его пользы. В Библии сказано: «...не много Ты умалил его [т. е. человека] перед ангелами; славою и честию увенчал его; поставил владыкою над делами рук Твоих; все положил под ноги его» (Пс. 8: 6–7). В итоге 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 путем 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, твердая вера в разрешимость любой проблемы с помощью разума и опыта, нетерпимость к плагиату, самоустранение из описания и объяснения природных явлений. Таким образом, свойственный западноевропейской культуре Нового времени идеал активного, деятельного отношения человека к природе и понимания природы как источника

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 свое учение о кровообращении;
- 1633 г. — процесс над Г. Галилеем;
- 1660 г. — создание Лондонского королевского общества;
- 1666 г. — учреждение Парижской академии наук;
- 1668 г. — начало микроскопических исследований А. ван Левенгука;
- 1687 г. — выход «Математических начал натуральной философии» И. Ньютона, где изложены основы классической механики.

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 чем 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 и еще 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 общепринято, что наука и религия — это взаимодополняющие способы постижения мира человеком. Исследуя разные аспекты, вместе они служат идее Добра и Блага для человека.

В ***новый*** *портфель*

??

- В 1880-е гг. в Англии эффективность молитвы проверялась специальными статистическими исследованиями, в которых сравнивалась продолжительность жизни людей, за здоровье которых молились и не молились. О чем, по вашему мнению, свидетельствует этот факт, если рассматривать его в контексте отношений между наукой и религией?
- Г. Галилей, разъясняя различие целей науки и религии, сказал, что «астрономия учит, как устроено небо, а не как попасть на небо». Однако такая позиция ученого не устраивала теологов. Почему?

13 ТРАДИЦИИ И РЕВОЛЮЦИИ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ

Урок-лекция

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

В. Гейзенберг

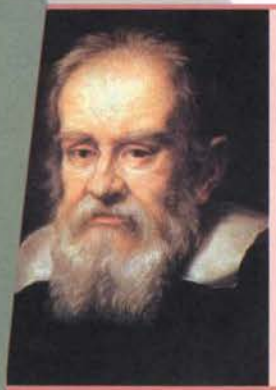
? Существуют ли традиции в науке и какова их роль? Что такое научная революция?

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 передается из поколения в поколение, по крайней мере в течение какого-то исторического периода.

Однако если внимательно присмотреться к работе ученого, то нетрудно заметить, что обычно он трудится в русле определенных научных традиций. Действительно, после создания Ньютоном в конце XVII в. основ классической механики ученые получили возможность изучать самые разнообразные явления — от движения живых организмов до движения планет. Менялись объекты исследования. Так, в одном случае требовалось рассчитать траекторию полета снаряда, а в другом — первую космическую скорость, но в основе всех этих расчетов и объяснений механических явлений лежала механика Ньютона, пусть даже ее основные уравнения стали со временем записываться в более общем виде и не так, как они даны в школьном учебнике.



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

Неизвестный художник. Галилео Галилей

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

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

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

В ***новый*** *портфель*

- 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 еще и философские позиции, принятые в данном научном сообществе и проявляющиеся при выборе направлений исследования, при оценке полученных результатов и состояния науки в целом.

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 удается. Скажем, не удается 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 число историков науки не считает открытие Д. И. Менделеевым периодического закона 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).

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 наши взгляды 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.

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, совершенные Н. Коперником, И. Ньютоном, А. Лавуазье, Ч. Дарвином и др. Часто научные революции связаны с внедрением новых методов исследования. Характерный пример — создание 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 (сумчатых 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.

Ученые могут успешно работать только в рамках определенных 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 влечет за собой глубокие изменения в нашем понимании той или иной области действительности или ведет к новой картине мира, то это явление характеризуют как научную революцию.

*В **новый** портфель*

??

- 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 создание микроскопа?
- Что общего и что различного у революций научных и социальных?
- Прокомментируйте следующий исторический курьез. Когда в 1856 г. в долине Неандера (Германия) был найден череп, который был толще, длиннее и у́же, 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, забрел в пещеру и там умер;

в) череп принадлежит кельту с мощной физической, но низкой умственной организацией.

Окончательный приговор был таков: 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. Ученые пришли к выводу, что человек, которого позже стали называть неандертальцем, скорее всего, современник Наполеона.

14 ЭКСПЕРИМЕНТ. ТЕОРИЯ. ПРАКТИКА

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, 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 определенные исследовательские умения. Можем ли мы построить свои рассуждения и практические действия так, чтобы кратчайшим путем 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 ученых-естествоиспытателей последовательность действий:

1. Анализ фактов на основе проведенных наблюдений.
2. Постановка проблемы на основе анализа фактов.
3. Выдвижение гипотезы исследования, 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. Механика и цивилизация / под ред. А. Г. Григорьяна, Б. Г. Кузнецова. — М.: Наука, 1979.

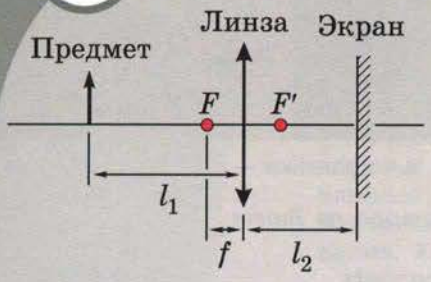


Рис. 7
Схема опыта по исследованию свойств линзы

СООБЩЕНИЕ 2

С помощью лабораторного оборудования выполните демонстрационный эксперимент — исследование по физике (оптика). Организуйте демонстрацию опыта как проблемное исследование учеников вашего класса. Используйте цепочку познавательной деятельности для исследования зависимости расстояния между двояковыпуклой линзой и четким 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 l_1, l_2 и т. д.

ПОДСКАЗКА

Не забудьте определить фокусное расстояние (f) линзы (вы учились этому в 8 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. Перышкин А. В. Физика: учеб. для 8 кл. / А. В. Перышкин. — М.: Дрофа, 2005.
2. Мякишев Г. Я. Физика: учеб. для 10 кл. / Г. Я. Мякишев, Б. Б. Буховцев. — М.: Просвещение, 2003.

СООБЩЕНИЕ 3

Методология Эйнштейна и Декарта.

В лекции «О методе теоретической физики» (1933) Эйнштейн говорил: «Я убежден, 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 остается 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 Декарта.

«Под интуицией я понимаю не зыбкое свидетельство чувств и не обманчивое суждение неправильно слагающего воображения, а понимание ясного и внимательного ума. Настолько легкое и отчетливое, что не остается 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. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. В 4 т. / А. Эйнштейн. — М.: Наука, 1967.
2. Декарт Р. Сочинения. В 2 т. Т. 1. Мир, или Трактат о свете. / Р. Декарт. — М.: Мысль, 1989.
3. Горелов А. А. Концепции современного естествознания: учеб. пособие для вузов / А. А. Горелов. — М.: АСТ, Астрель, 2006.

СООБЩЕНИЕ 4

Роль математики в естественных науках.

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

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

Источники информации

Свасьян К. А. Становление европейской науки / К. А. Свасьян. — Ереван: Изд-во АН Армении, 1990.

СООБЩЕНИЕ 4

Сущность мысленного эксперимента как метода.
Два описания мысленного эксперимента — Галилеем и Эйнштейном.

Источники информации

1. Ахутин А. В. История принципов физического эксперимента / А. В. Ахутин. — М.: Наука, 1979.
2. Эйнштейн о Галилее и его «Диалогах» //Эйнштейн А. Собр. науч. трудов. В 4 т. — М.: Наука, 1967.
3. Голубинцев И. Ю. Концепции современного естествознания: учеб. пособие / В. О. Голубинцев [и др.]; под ред. С. И. Самыгина. — 7-е изд. доп. и перер. — Ростов н/Д, 2005.

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

*В **новый** портфель*

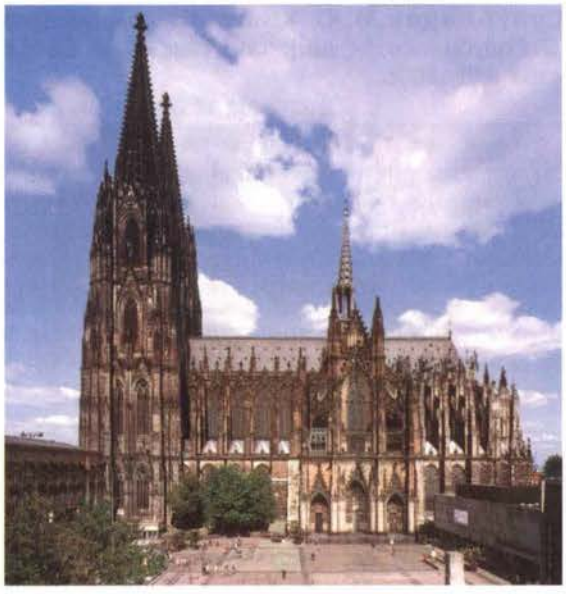
Глава 2

СТРУКТУРЫ МИРА ПРИРОДЫ: ЕДИНСТВО МНОГООБРАЗИЯ

ОБРАЗ И МЫСЛЬ

Фриц Хёгер. Чилихаус в Гамбурге (1922—1923)

Э. ла Падуа. Дворец римской цивилизации в квартале Эур в Риме (1936)



Герхард фон Риле
Кельнский собор (1248—1880)

- Рассмотрите изображение архитектурных памятников, созданных в разные эпохи в разных странах. Попробуйте определить, какое впечатление рассчитывали произвести на зрителя авторы каждого сооружения. Аргументируйте свое мнение.
- Вероятно, вы обратили внимание на то, что авторы использовали при строительстве симметрию — фундаментальный принцип устройства мира. Как вы считаете, существует ли связь между симметрией и гармонией? Если да, то в чем она выражается? Внесло ли искусство что-то новое в ваше понимание структуры мира природы по сравнению с естественно-научным знанием? Обоснуйте свое мнение.
- При изучении материалов главы II задумайтесь над вопросом: «Каким образом искусство помогает нам осознать глубинные связи принципа симметрии с законами мироустройства?»

ПРЕАМБУЛА:

Наш мир богат различными структурами. Это и гигантские структуры космических масштабов, и структуры крошечных, не видимых глазом частиц. Все они состоят из вещества в разнообразной форме. Но, помимо вещества, в состав всех структур входят еще и поля, которые непрерывно заполняют всю нашу Вселенную. Вещество и поля образуют материю нашего мира.

Структуры бывают относительно простыми (например, ядра атомов) и очень сложными, характерными для живой природы. Каждая из них подчиняется своим законам. Однако, помимо частных законов, описывающих, например, процессы в Солнечной системе, в атоме или в живом организме, существуют общие, фундаментальные законы и принципы, которые применимы к любым структурам. Такими законами являются законы сохранения, в частности закон сохранения энергии и превращения ее из одного вида в другой. Законы сохранения тесно связаны с фундаментальными принципами симметрии, которые также оказываются важными для понимания устройства нашего мира.

Изучение природы так или иначе сводится к исследованию разнообразных структур, их свойств и происходящих в них процессов.

15 МАСШТАБЫ ВСЕЛЕННОЙ

Урок-лекция

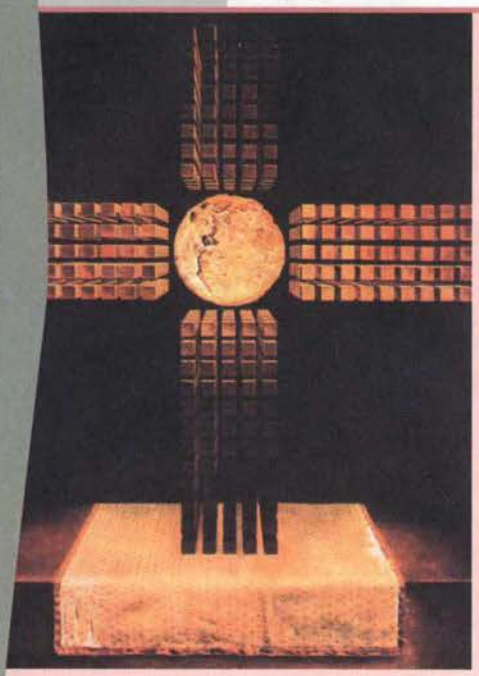
Мы думаем, что изучаем звезды, а оказалось, что изучаем атом.
Р. Фейнман

? 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 Мегамир • Макромир • Микромир

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 удаленные от нас на очень большие расстояния, называют **мегамиром**.



Сальвадор Дали. Ядерный крест

Сделайте предположение, почему С. Дали назвал свою картину «Ядерный крест».

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

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.

Начнем со сферы радиусом 10 см. Это типичный размер объекта макромира. Чтобы достаточно быстро добраться до границ познанного мира, нам придется увеличивать и уменьшать сферу во много раз. Возьмем 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 размеры? Это приблизительно четверть расстояния от Земли до Луны. Такие расстояния вполне доступны для передвижения человека; так, астронавты уже побывали на Луне. Все, что имеет размеры такого порядка, следует отнести к макромиру (рис. 8).

2. Сделав увеличение еще в миллиард раз, мы получим сферу радиусом 10^{14} км. Это, конечно же, астрономические размеры. В астрономии для удобства измерения расстояний используют световые единицы, которые соответствуют времени, необходимому свету, чтобы преодолеть определенное расстояние.

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 звезд, но в

данном случае мы его не рассматриваем.) Сфера радиусом 10 св. лет, центр которой находится на Солнце, содержит около десятка звезд. 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 звезды невозможно.

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

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 звездах: довольно точно измерены расстояния до них, температура их поверхности, определены их состав, размеры и масса. У некоторых звезд обнаружены спутники — планеты. Данные сведения получены при изучении спектров излучения этих звезд. Можно сказать, что сфера радиусом 10 св. лет достаточно хорошо изученный космос.

3. Сделав очередное увеличение в миллиард раз, мы получим сферу радиусом 10 млрд св. лет. Именно на таком расстоянии от нас находятся самые отдаленные 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. Общепринятая гипотеза говорит, что мы вообще не можем наблюдать объекты, удаленные от нас на расстояния более 13 млрд св. лет. Этот факт связан с тем, что наша Вселенная родилась 13 млрд лет тому назад, поэтому свет от более удаленных объектов просто еще не дошел до нас. Итак, мы добрались до границ мегамира (рис. 9).

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

В новый портфель

Будем теперь двигаться в глубь микромира. Уменьшив сферу радиусом 10 см в миллиард раз, получим сферу радиусом 10^{-8} см = 10^{-10} м = = 0,1 нм. Оказывается, это характерный для микромира масштаб. Размеры такого порядка имеют атомы и простейшие молекулы. Микромир такого масштаба достаточно хорошо изучен. Мы знаем законы, описывающие взаимодействия атомов и молекул.

Объекты такого размера недоступны для наблюдения невооруженным глазом и даже не видны в самые мощные микроскопы, поскольку длина

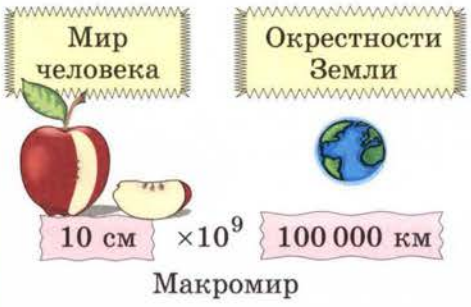


Рис. 8. Масштабы макромира

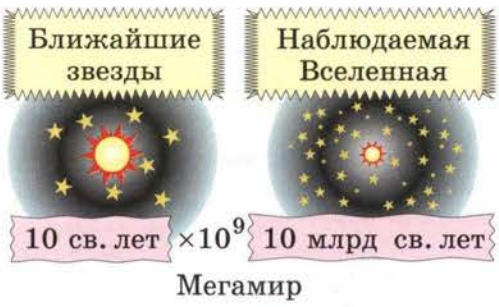


Рис. 9. Масштабы мегамира

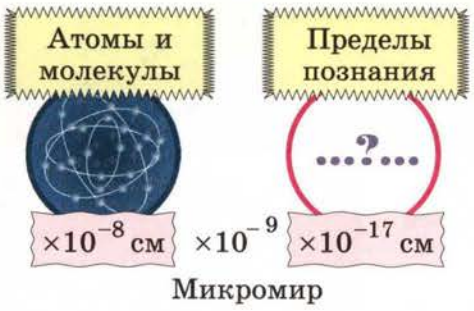


Рис. 10. Масштабы микромира

волны видимого света лежит в диапазоне 300—700 нм, т. е. в тысячи раз превосходит 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 плоды модельных образов. 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.

Конечно же, этот мир еще не предел познания; например, размеры атомных ядер примерно в 10 000 раз меньше. Уменьшив сферу радиусом 0,1 нм в миллиард раз, получим сферу радиусом 10^{-17} см, или 10^{-19} м. Мы фактически достигли пределов познания. Дело в том, что размеры мельчайших частиц вещества — электронов и кварков (о них будет рассказано в § 29) — имеют порядок величины 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, еще не до конца изучены. Современные экспериментальные возможности не позволяют еще 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 ученые, тем большую энергию необходимо сообщить сталкивающимся частицам. Эта энергия сообщается при разгоне частиц на ускорителях, причем, чем большую энергию необходимо сообщить, тем больше должны быть размеры ускорителей. Современные ускорители имеют размеры в несколько километров. Для того чтобы продвинуться еще больше в глубь микромира, необходимы ускорители размером с земной шар.

Итак, теперь вы должны представлять, каким масштабам соответствует микромир (рис. 10).

В микромире, в макромире и в 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 — увидеть объекты, удаленные от нас на расстояние больше 13 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)?

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

*В **новый** портфель*

16 СРЕДСТВА ИЗУЧЕНИЯ МИКРОМИРА И МЕГАМИРА

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?

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

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

ПЛАН РАБОТЫ 1. Расчет оптических характеристик глаза, микроскопа. 2. Наблюдение с помощью микроскопа. 3. Определение увеличения телескопа.

НАБЛЮДЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МИКРОСКОПА И ТЕЛЕСКОПА. В начале XVII в. были созданы приборы для изучения микромира — микроскопы и мира астрономического — телескопы.

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'.

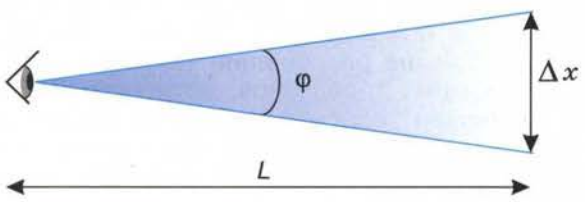
а *б*

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 $\Delta x = L \cdot \varphi$, где φ — угол зрения на предмет и 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 размер около 0,01 — 0,001 мм, либо крупные объекты, удаленные от глаза на большое расстояние, например детали поверхности Марса. Микроскоп и телескоп увеличивают угол наблюдения, т. е. помогают рассмотреть мелкие или удаленные объекты.

2. Рассчитайте увеличение школьного микроскопа.

ПОДСКАЗКА

Увеличение микроскопа может быть рассчитано по формуле

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

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.

ПОДСКАЗКА

Увеличение телескопа можно рассчитать по формуле

$$\Gamma = \frac{f_{об}}{f_{ок}}.$$

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.

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 звезд, планет, о свойствах межзвездных туманностей.

Самые большие современные оптические телескопы — это телескопы-рефлекторы, размеры объектива которых достигают 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 дает прекрасные изображения далеких объектов Вселенной. На орбите также

работают гамма-, рентгеновские, 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.

Современный телескоп

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 невооруженным глазом следует приготовить плотно закопченное стекло.

Литература для дополнительного чтения

1. Ландсберг Г. С. Оптика / Г. С. Ландсберг — М.: Наука, 1976.
2. Энциклопедический словарь юного астронома. — М.: Педагогика, 1980. — С. 320.
3. Большая детская энциклопедия: Вселенная. — М.: Русское энциклопедическое товарищество, 1999. — С. 608.
4. 1С: Репетитор. Физика — М.: 1С, 2003.
5. Открытая физика 2.5. Ч. 2. — М.: Физикон, 2003.

Оптические приборы — микроскоп и телескоп — дают возможность увеличить угол зрения на объект, позволяя глазу с помощью окуляра разглядеть либо очень мелкие близкие, либо далекие космические объекты. Увеличение прибора показывает, во сколько раз оптическая система увеличивает угол зрения на предмет. Современная наука использует электронные микроскопы и телескопы больших диаметров или заатмосферные для изучения природы объектов микромира и мегамира.

*В **новый** портфель*

17 ДИСКРЕТНОСТЬ И НЕПРЕРЫВНОСТЬ В ПРИРОДЕ

Урок-лекция

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

Ланцет

? 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 Корпускулярный подход • Континуальный подход • Скалярное поле • Векторное поле • Траектория

Из старого портфеля Броуновское движение. Электрическое поле, магнитное поле (Физика, 7—9 кл.). Глобус, географическая карта, план местности, их основные параметры и элементы (масштаб, условные знаки, способы картографического изображения, градусная сеть) (География, основная школа). Глобус, географическая карта, план местности, их основные параметры и элементы (География, 6—7 кл.).

КОРПУСКУЛЯРНОЕ И КОНТИНУАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ОБЪЕКТОВ ПРИРОДЫ.

С древнейших времен 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 ее непрерывности. Заполняя все пространство целиком, материя «не оставляет пустоты внутри себя».

Другое представление — атомистическая, или **корпускулярная**, концепция Левкиппа—Демокрита — было основано на дискретности пространственно-временно́го строения материи. Оно отражало уверенность человека в возможности деления материальных объектов на части до определенного предела — до атомов, которые в своем бесконечном мно-

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. Сан-Тропе

гообразии (по величине, форме, порядку) сочетаются различными способами и порождают все 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?

Разберем 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 отсчета 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.

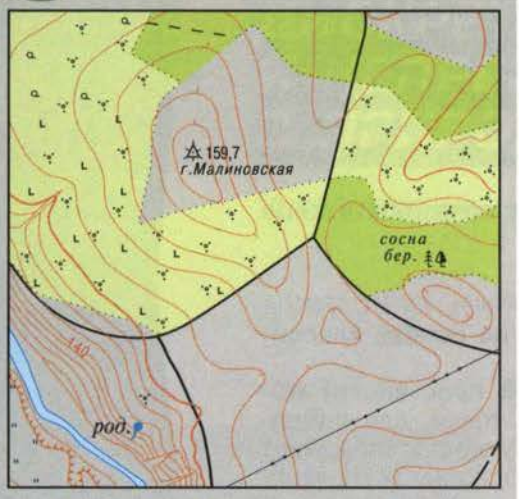
При дискретном (корпускулярном) описании некоторой системы необходимо задать различные параметры, характеризующие каждую из составляющих системы. Если эти параметры зависят от времени, необходимо учесть эту зависимость.

В ***новый*** *портфель*

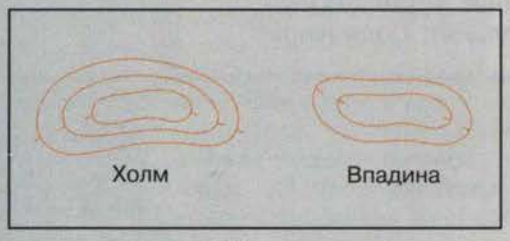
СИСТЕМА КАК НЕПРЕРЫВНЫЙ ОБЪЕКТ (КОНТИНУАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ). Обращаясь к эпиграфу в начале параграфа, рассмотрим теперь такую систему, как лес. Однако, чтобы дать характеристику лесу, довольно бессмысленно перечислять всех представителей растительного и животного мира данного леса. И не только потому, что 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, введем 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 приближенно, оценить, исходя из наблюдения за лесом.

Приведем другой пример. Течение воды представляет собой механическое перемещение частичек воды и примесей. Однако описать течение при помощи 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.)



а



б

Рис. 11
Фрагмент топографической карты, на которой приведены: линии равных высот (*а*); изображение холмов и впадин (*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. Аналогичными линиями изображают и другие поля.

Подобное описание называют полевым, а функцию, определяющую некоторую характеристику протяженного объекта в зависимости от координат и времени, называют **полем**. В приведенных 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 поле, характеризующее скорость течения жидкости. Различных полей существует великое множество. Фактически, описывая любой протяженный объект как нечто непрерывное, можно ввести свое поле, и не одно.

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

В ***новый*** *портфель*

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. 11, *а*).

На этой карте, помимо всего прочего, приведены линии равных высот для холмов и впадин (рис 11, *б*).

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, проводятся через некоторый интервал.

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 направленные линии проводят так, что в каждой точке линии вектор, соответствующий полю в данной точке, будет касательным к этой линии.

В ***новый*** *портфель*

??

- На метеорологических картах проводят линии, называемые изотермами и изобарами. Каким полям соответствуют эти линии?
- Представьте реальное поле — поле пшеницы. Под действием ветра колоски наклоняются, причем 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 мельчайших спутников, движущихся по круговым траекториям. В каких случаях целесообразно для колец Сатурна применять дискретное описание, а в каких — непрерывное?

18 ПОЛЕ КАК СПОСОБ ОПИСАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

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?

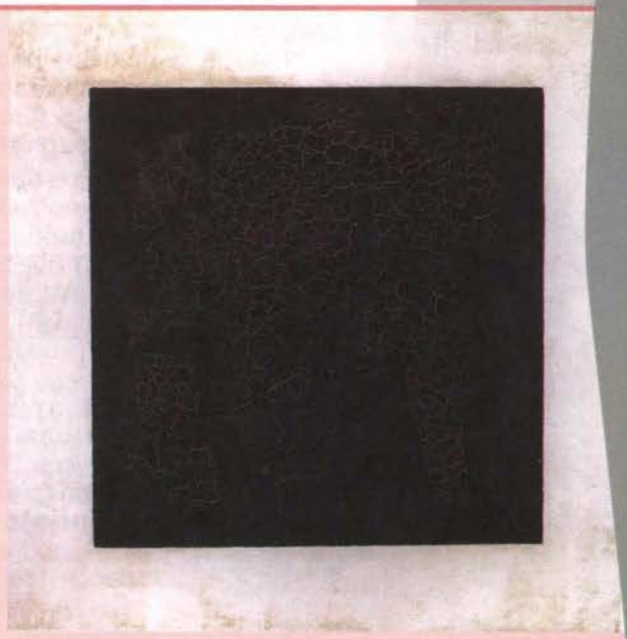
Ключевые слова Гравитационное взаимодействие • Гравитационное поле • Магнитная сила • Электромагнитное взаимодействие • Электромагнитное поле • Пробное тело • Пробный заряд

Из старого портфеля 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.).

ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ. В курсе физики вы изучали закон всемирного тяготения, в соответствии с которым 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 полем. Данное поле имеет название **гравитационное поле.**

Вблизи поверхности Земли сила, действующая на какое-либо тело, например на вас, со стороны Земли, намного превосходит все остальные гравитационные силы. Это знакомая вам сила тяжести. Так как сила тяжести связана с массой тела соотношением $\vec{F}_g = m\vec{g}$,



Казимир Малевич. Черный квадрат

Выскажите свое предположение, почему именно эта репродукция картины Малевича сопровождает текст параграфа.

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

то $\vec{G}$ вблизи поверхности Земли есть просто ускорение свободного падения.

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 пробное тело. Слово «пробное» означает, что этого тела может и не быть, поле в данной точке пространства все 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 и не ограничиваться Солнечной системой и рассматривать любую, сколь угодно большую систему тел.

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.

В ***новый*** *портфель*

ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ПОЛЕ. Электрические силы очень похожи на гравитационные, только действуют они между заряженными частицами, причем для одноименно заряженных частиц это силы отталкивания, а для разноименно заряженных — силы притяжения. Закон, подобный закону всемирного тяготения, — это закон Кулона. В соответствии с ним сила, действующая между двумя заряженными телами, пропорциональна произведению зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между телами.

В силу 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 напряженностью электрического поля. Вывод, касающийся гравитационного поля, можно почти дословно повторить для электрического поля.

Взаимодействие между заряженными телами (или просто зарядами), как уже говорилось, очень похоже на гравитационное взаимодействие между любыми телами. Однако есть одно очень существенное отличие. Гравитационные силы не зависят от того, движутся тела или неподвижны. А вот сила взаимодействия между зарядами изменяется, если заряды движутся. Например, между двумя одинаковыми неподвижными зарядами действуют силы отталкивания (рис. 12, *а*). Если же эти заряды движутся, то силы взаимодействия изменяются. В дополнение к электрическим силам отталкивания появляются силы притяжения (рис. 12, *б*).

Вы уже знакомы с этой силой из курса физики. Именно эта сила вызывает притяжение двух параллельных проводников с

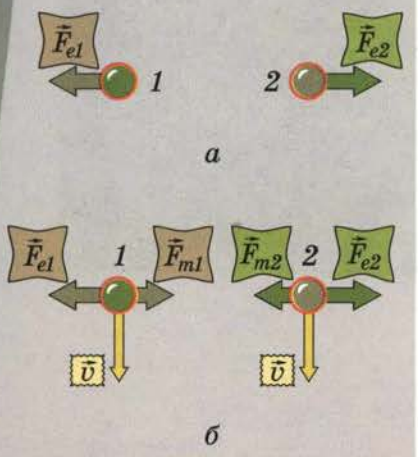


Рис. 12
Взаимодействие двух неподвижных зарядов (*а*), взаимодействие двух движущихся зарядов (*б*)

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.

В ***новый*** *портфель*

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? Все очень просто. Проводники содержат как положительные, так и отрицательные заряды, причем 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 задается относительно некоторой системы отсчета и изменяется при переходе от одной системы отсчета к другой.

А теперь посмотрите внимательно на рисунок 12. Чем различаются рисунки *а* и *б*? На рисунке *б* заряды движутся. Но это движение только в определенной, выбранной нами системе отсчета. Мы можем выбрать другую систему отсчета, 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 единая **электромагнитная сила**, действующая между зарядами, которая по-разному проявляется в различных системах отсчета. Соответственно можно говорить о едином **электромагнитном поле**, которое представляет собой совокупность двух полей — электрического и магнитного. В различных системах отсчета электрическая и магнитная составляющие электромагнитного поля могут проявляться по-разному. В частности, может оказаться, что в какой-то системе отсчета исчезает электрическая или магнитная составляющая электромагнитного поля.

Но если это так, то можно повторить вывод, касающийся электрического поля.

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

В ***новый*** *портфель*

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 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 12, *б* один из зарядов заменить противоположным по знаку зарядом?
- Куда будут направлены магнитные силы на рисунке 12, *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

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 прочитать во многих учебниках физики и даже в энциклопедическом словаре. А вот пояснения к этому утверждению встречаются далеко не всегда. Поэтому часто смысл сказанного остается непонятым. Попробуем разобраться в этом и «материализовать поле». Заметим, что приведенное 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 между телами. 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 между макроскопическими телами можно представить как результат взаимодействия между атомами и молекулами или, при еще большем углублении в структуру вещества, как результат взаимодействия между ядрами и электронами, входящими 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».

Как говорилось в предыдущем параграфе, фундаментальные гравитационное и электромагнитное взаимодействия можно рассматривать на основе взаимодействия с полем. Поля, соответствующие фундаментальным взаимодействиям, стали называть **фундаментальными полями.**

Фундаментальными взаимодействиями являются гравитационное и электромагнитное взаимодействия.

В новый портфель

Развитие науки показало, что гравитационное и электромагнитное взаимодействия не единственные фундаментальные взаимодействия. В настоящее время обнаружено четыре фундаментальных взаимодействия. О двух других фундаментальных взаимодействиях мы узнаем при изучении микромира.

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

В ***новый*** *портфель*

ДАЛЬНОДЕЙСТВИЕ И БЛИЗКОДЕЙСТВИЕ. Мы уже знаем, что взаимодействие между частицами (заряженными и незаряженными) можно описывать при помощи полей, но можно и не вводить понятие поля. Концепцию, в соответствии с которой взаимодействие между частицами описывают напрямую, без введения понятия поля, называют **концепцией дальнодействия**. Название это означает, что частицы взаимодействуют на далеком расстоянии. Наоборот, вторую концепцию, в соответствии с которой взаимодействие осуществляется через посредство поля (гравитационного и электромагнитного), называют **концепцией близкодействия**. Смысл понятия близкодействия заключается в том, что частица взаимодействует с полем, которое имеется вблизи нее, хотя само это поле может создаваться частицами, находящимися очень далеко (рис. 13).

В первом случае (см. рис. 13, *а*) на заряд q действует сила F со стороны заряда Q, находящегося на расстоянии r. Во втором случае заряд Q создает 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, создается поле $\vec{E}(x_0, y_0, z_0)$ (см. рис. 13, *б*). Это поле, а не непосредственно заряд Q взаимодействует с зарядом q (см. рис. 13, *в*).

Исторически знания о природе развивались таким образом, что концепция близкодействия, 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, приведенному на рисунке 13, можно сказать, что если заряд Q в какой-то момент времени начнет 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.

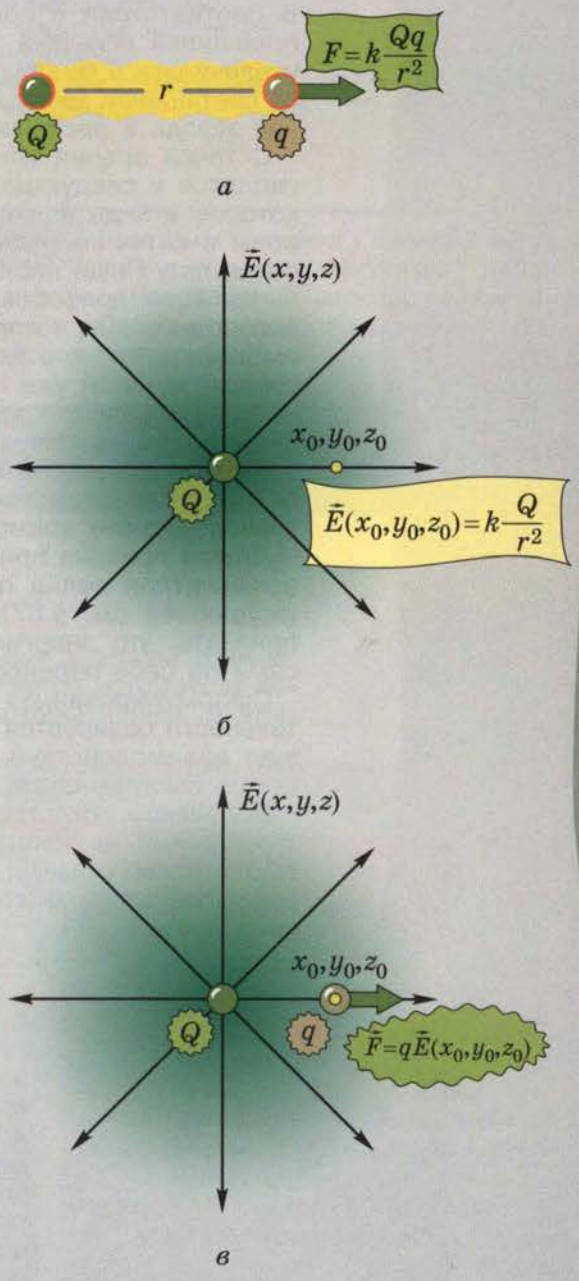


Рис. 13
Иллюстрация взаимодействия на основе концепции дальнодействия (*а*) и концепции близкодействия (*б*, *в*)

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

Чтобы понять это, рассмотрим следующий пример. В 1054 г. на небосводе появилась яркая звезда, свет которой наблюдался даже днем 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 звезд произошла вспышка звезды, во время которой ее 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 точки зрения концепции близкодействия наблюдение света звезды сводится к следующему. Заряды, находящиеся на звезде, создали поле, которое в виде волны дошло до Земли и оказало воздействие на электроны в сетчатке 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 дальнодействия, то приходится считать, что заряды в сетчатке глаза взаимодействуют не с зарядами звезды, а с теми, 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 удобное».

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 следует признать, что энергия и импульс не связаны с чем-то материальным и сами по себе переносятся через пространство.

Сформулированная в 1905 г. Альбертом 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 еще эти духи не материализованы, т. е. не наблюдаются на опыте. Но и наука о фундаментальных полях пока еще не завершена.

??

- ▷ Какой смысл заложен в понятия «фундаментальные поля» и «фундаментальные взаимодействия»?
- ▶ Приведите примеры полей, не являющихся фундаментальными.
- ▶ Подумайте и приведите примеры нефундаментальных взаимодействий.

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.

*В **новый** портфель*

20 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЛЯ И ВЕЩЕСТВА. ЦВЕТ И СПЕКТРЫ

Урок-лекция

У этой, по крайней мере, лицо
не вовсе бессмысленное...
Правда, умом оно не блещет,
но что поделаешь!
Зато цвет у нее правильный,
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 дает исследование спектров веществ? Что такое тепловое излучение? Что такое абсолютно черное тело? Какими особенностями обладают спектры теплового излучения?

Ключевые слова Спектры отражения • Спектры поглощения • Спектры излучения • Линейчатые спектры • Непрерывные спектры • Интенсивность волны • Спектры теплового излучения • Абсолютно черное тело

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

Две составляющие материи — поле и вещество — живут 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, связанных с исследованием цвета и спектров, был опыт Исаака Ньютона, который пропустил солнечный свет через призму и получил спектр солнечного излучения (рис. 14).

Впоследствии выяснилось, что каждой узкой полоске этого спектра соответствует волна определенной длины волны (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.

Но почему то или иное вещество имеет определенный цвет?

Вещество и поле обладают таким общим качеством, как энергия. В процес-

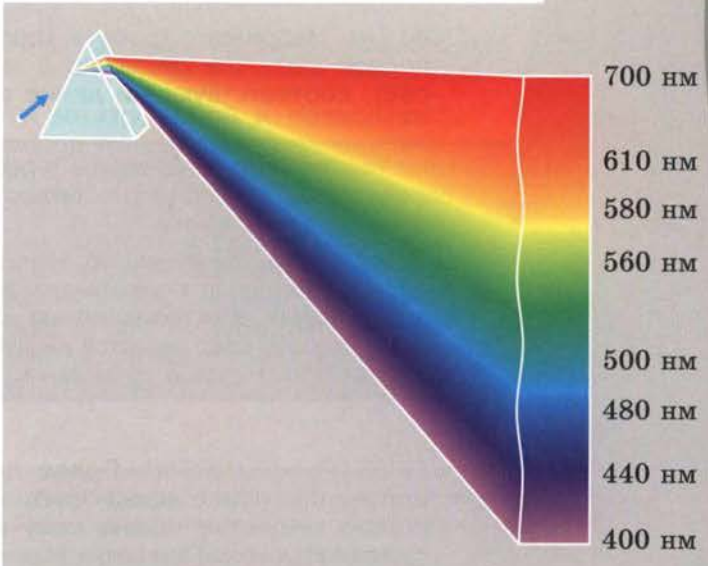


Рис. 14
Разложение солнечного излучения в спектр при помощи призмы

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

се взаимодействия поля волны с веществом (точнее, с заряженными частицами, составляющими вещество) поле может отдать энергию веществу. В этом случае происходит поглощение электромагнитной волны. Противоположный процесс, когда вещество отдает энергию полю, называют излучением. Наконец, вещество может взаимодействовать с электромагнитной волной, изменяя ее, 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 зеленый цвет листа растения. В темноте цвет листа не виден. Мы можем наблюдать свет, отраженный от листа растения, или свет, прошедший через лист (в обоих случаях зеленый). Цвет в этих случаях определяется тем, что вещество листа поглощает свет всех длин волн, кроме волны, соответствующей зеленому цвету. Белое тело абсолютно одинаково хорошо отражает все волны, ничего не поглощая. Напротив, **абсолютно черное тело** совершенно не отражает волны, поглощая все излучение. Некоторые вещества, например сажа, близки по свойствам к абсолютно черному телу.

Противоположный случай имеет место, когда вещество излучает свет без воздействия внешней электромагнитной волны. Например, газовая горелка излучает синий свет. Этот цвет обусловлен тем, что вещество в момент горения преимущественно излучает свет, соответствующий длине волны синего цвета.

Цвет отраженного от вещества и прошедшего через вещество света определяется способностью вещества по-разному поглощать свет различной длины волны.

Цвет вещества, излучающего электромагнитную волну без воздействия внешнего поля, определяется различной способностью этого вещества излучать электромагнитную волну того или иного диапазона.

Таким образом, цвет является характеристикой вещества и процесса взаимодействия поля с веществом.

В ***новый*** *портфель*

СПЕКТРЫ ВЕЩЕСТВ. Более детальную информацию о взаимодействии излучения и вещества дают **спектры** веществ. В простейшем опыте спектр вещества можно получить, пропуская свет через призму, как это сделал Ньютон. При этом излучению одного цвета могут соответствовать различные спектры. Например, спектр желтого излучения паров натрия, приведенный на рисунке 15, представляет собой две узкие линии и совсем не похож на спектр излучения Солнца (см. рис. 14). Подобные

спектры, состоящие из отдельных линий, называют **линейчатыми** в отличие от спектров типа спектра Солнца, которые называют **сплошными**.

Но если Солнце излучает свет волн разной длины, то почему оно желтое? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо сделать определенные измерения. Из того, что было сказано в начале параграфа, следует, что измерять нужно некоторую энергетическую характеристику волны. Такой характеристикой является **интенсивность**.

На рисунке 16 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.

Вспомните, что длина волны и частота волны связаны простым соотношением.

Из приведенного на рисунке 16 спектра Солнца понятно, почему Солнце желтого цвета. Максимум интенсивности солнечного излучения приходится на волну, соответствующую желтому цвету. Ну а что же представляет собой спектр натрия, изображенный в виде графика? Это одинокий узкий пик, который при применении хорошего прибора виден как раздвоенный.

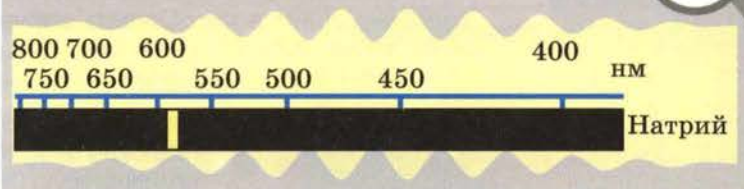


Рис. 15
Спектр натрия

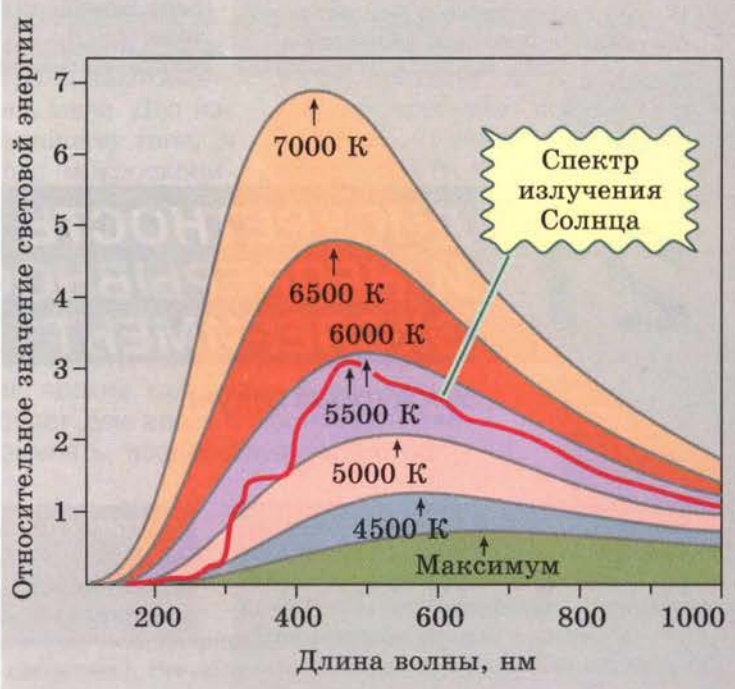


Рис. 16
Спектры излучения абсолютно черного тела и Солнца

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

СПЕКТРЫ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ. Чтобы самостоятельно излучать электромагнитную волну, заряженные частицы должны обладать определенной энергией. Эта энергия может приобретаться 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 черного тела (см. рис. 16). Его интенсивность увеличивается с температурой. Длина волны в максимуме излучения при увеличении температуры сдвигается в сторону более

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

коротких длин волн. Спектр излучения звезд похож на спектр излучения абсолютно черного тела. Отсюда, в частности, следует, что голубые звезды имеют более высокую температуру, чем желтые.

??

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

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

В ***новый*** *портфель*

21 ДИСКРЕТНОСТЬ И НЕПРЕРЫВНОСТЬ: ЭКСПЕРИМЕНТ

Урок-практикум

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

?

Как на опыте доказать непрерывный (волновой) характер света? Какая идея положена в основу эксперимента по измерению заряда электрона?

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

ЦЕЛЬ РАБОТЫ Проведение эксперимента, доказывающего волновую природу света. Анализ метода, использованного Милликеном при измерении заряда электрона.

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

Оборудование: обычная лазерная указка (для краткости мы будем ее называть просто лазером), бумага, ножницы, затемненное помещение и экран.

1. В плотной бумаге вырежите щель, как показано на рисунке 17.
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 полоску, перпендикулярную щели, со светлым пятном в середине, затем полоска разделится на несколько светящихся элементов, расстояние между которыми будет увеличиваться.

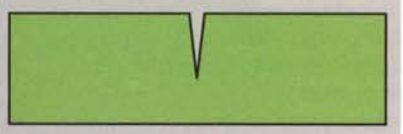


Рис. 17

Подобное изображение называют дифракционной картиной, а само явление образования темных и светлых областей при прохождении света через щель — дифракцией. Ответьте на вопрос: можно ли объяснить это явление законами геометрической оптики и гипотезой о том, что 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.

Перейдем теперь к описанию опыта Милликена. Сложность измерения величины заряда электрона заключается в том, что величина этого заряда очень мала. Для измерения заряда 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 нее будет действовать электрическая сила, пропорциональная величине заряда. Поскольку капля находится в воздушной среде, на нее также действует сила сопротивления воздуха, пропорциональная скорости капли и направленная против скорости. В результате взаимной компенсации этих сил капля будет двигаться с постоянной скоростью. Заряд капли на опыте можно изменять, воздействуя на нее рентгеновским излучением.

Стоунхендж. Великобритания

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

Екклизиаст

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

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

ПОДСКАЗКА

Запишите второй закон Ньютона и приравняйте ускорение к нулю (равномерное движение). Вы получите, что скорость капли линейно зависит от ее 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 Милликена заключалась в том, чтобы на основе измерения дискретного приращения скорости капель вычислить минимальные порции электрического заряда, вызывающего изменение скорости.

Литература для дополнительного чтения

1. Бутиков Е. И. Физика для углубленного изучения / Е. И. Бутиков, А. С. Кондратьев. — М.: Физматлит, 2004.
2. Физика 7—9: мультимедийное учеб. пособие нового поколения. — М.: Просвещение-Медиа, 2004.

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

Опыт Милликена по исследованию движения частиц мельчайших капель жидкости позволил доказать гипотезу о дискретности заряда и вычислить на основе экспериментальных данных величину минимально возможной порции заряда (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 чем заключаются корпускулярные свойства электромагнитного поля?

Ключевые слова Квантовая теория • Квант • Постоянная Планка • 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 **квантовая теория**, стала описывать частицы и поля единым образом. В соответствии с ее 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.

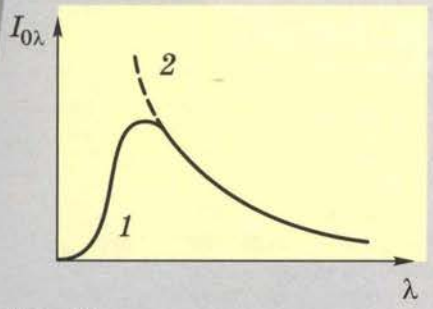


Рис. 18
Экспериментальный спектр излучения абсолютно черного тела (1) и кривая, соответствующая теории Рэлея — Джинса (2)

ГИПОТЕЗА КВАНТОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ. Начало новой теории было положено теоретической моделью, описывающей излучение абсолютно черного тела. То, что абсолютно черное тело должно одинаково хорошо поглощать все электромагнитные волны (см. § 20), означало, что в движении заряженных частиц не должно быть какой-то закономерности. Оно должно быть хаотическим, подобно движению частиц молекулярного газа. Такое движение практически реализуется на звездах, именно поэтому спектр звезд близок к спектру излучения абсолютно черного тела.

Теория излучения абсолютно черного тела была построена Джоном Рэлеем и Джеймсом Джинсом. Однако, хорошо согласуясь с экспериментом в области больших длин волн, она совершенно неудовлетворительно описывала излучение в области коротких длин волн (рис. 18). В то время как экс-

периментальная кривая при малых λ шла к нулю, теоретическая кривая устремлялась к бесконечности.

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

Построить теорию, согласующуюся с экспериментом, удалось в 1900 г. Максу Планку на основе предположения о том, что электромагнитная волна излучается и поглощается не непрерывно, а порциями — **квантами**. Причем 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 никаких оснований для подобного предположения. Несмотря на неудовлетворенность результатом, Планк получил новую, фундаментальную константу, которая впоследствии была названа его именем — **постоянная Планка**. Значение этой постоянной $h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}$ Дж·с соответствует значениям величин микромира.

Теория излучения абсолютно черного 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 19.

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.

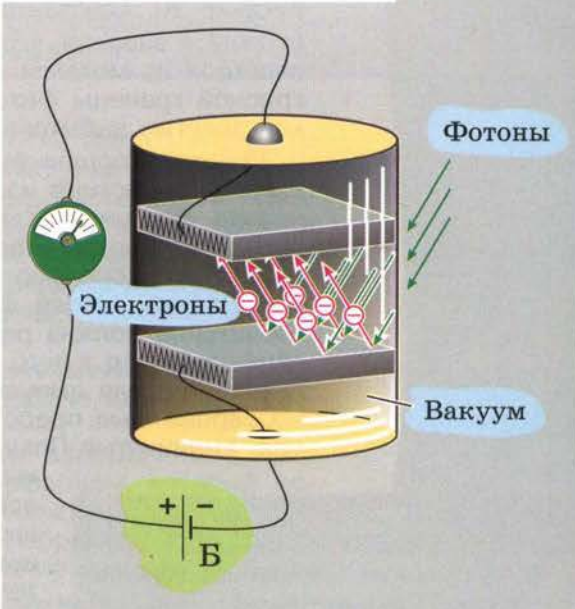


Рис. 19
Схема наблюдения явления фотоэффекта

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.

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. 20), причем при понижении частоты света ниже некоторой критической ($\nu_{кр}$) фотоэффект пропадал. Эта критическая частота была названа **красной границей**

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

В ***новый*** *портфель*

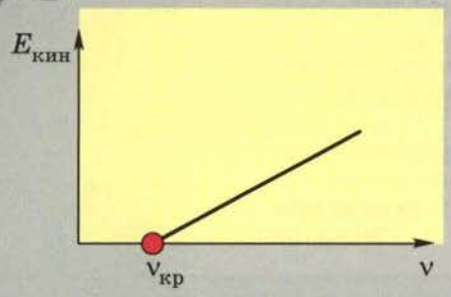


Рис. 20
Зависимость кинетической энергии выбитых с катода электронов от частоты света

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.

В новый портфель

фотоэффекта (она действительно соответствовала красному свету).

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

Эта формула соответствует линейной зависимости, изображенной на рисунке 20. Константа $A_{вых}$, которая была названа **работой выхода**, имеет смысл энергии, которую необходимо затратить для того, чтобы выбить электрон из металла. Естественным образом объяснялось существование красной границы фотоэффекта. Она соответствовала нулевой кинетической энергии выбитого электрона: $h\nu_{кр} = A_{вых}$.

Эйнштейн пошел еще дальше в осмыслении понятия кванта: он ввел понятие о частице излучения (частице электромагнитного поля), которую назвал **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 равняться 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 $p = h/\lambda$.

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 чем состоят дискретные свойства электромагнитного поля?
- ▶ Что такое фотон — волна или частица?
- ▶ От самых ярких звезд 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?

В соответствии с современными представлениями 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 новый портфель

23 ВОЛНОВЫЕ (ПОЛЕВЫЕ) СВОЙСТВА ЧАСТИЦ

Урок-лекция

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

Л. Кэрролл

?

Что такое планетарная модель атома и в чем ее недостаток? В чем суть модели атома Бора? В чем заключается гипотеза о волновых свойствах частиц? Какие предсказания дает эта гипотеза о свойствах микромира?

Ключевые слова Планетарная модель атома • Уровни энергии атома • Основной уровень • Волновая функция

Из старого портфеля 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.).

КЛАССИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АТОМА И ИХ НЕДОСТАТКИ. Идеи о том, что атомы не являются неделимыми частицами и содержат в качестве составляющих частиц элементарные заряды, были впервые 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.

Первая модель Томсона предполагала, что положительный заряд равномерно рассредоточен по всему атому, а в него, подобно изюму в булочке, вкраплены электроны.

Несоответствие этой модели экспериментальным данным стало ясно после проведения в 1906 г. опыта Эрнестом Резерфордом, который исследовал процесс рассеяния α-частиц атомами. Из опыта был сделан вывод, что положительный заряд сосредоточен внутри образования, существенно меньшего, чем размеры атома. Это образование назвали атомным ядром, размеры которого составляли 10^{-12} см, а размеры атома — 10^{-8} см. 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 родилась **планетарная модель атома** Резерфорда.

Дальнейшее исследование устойчивости атома дало ошеломляющий результат: расчеты показали, что за время 10^{-9} с электрон должен упасть на ядро вследствие потери энергии на излучение. Кроме того, такая модель давала непрерывные, а не дискретные спектры излучения атомов.

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

*В **новый** портфель*

Василий Кандинский. Несколько кругов

Быть может, эти электроны —
.....
Вселенная, где сто планет;
Там все, что здесь, в объеме сжатом,
Но также то, чего здесь нет.

В. Брюсов

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

ТЕОРИЯ АТОМА БОРА. Следующий важный шаг в разработке теории атомов 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. 21). Традиционно на энергетических диаграммах энергия откладывается по вертикальной оси.

Отличие движения тела в гравитационном поле (рис. 21, *а*) от движения электрона в атоме (рис. 21, *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, изображенных 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 излученного или поглощенного кванта света.

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

ВОЛНЫ ВЕЩЕСТВА. 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 рецепты вычисления различ-

Энергия космического аппарата в поле тяготения Земли:
при движении по незамкнутой траектории $E > 0$;
при движении по замкнутой траектории $E < 0$

а

Энергия электрона в атоме:
поглощение света при переходе на более высокий уровень энергии;
излучение света при переходе на более низкий уровень энергии

б

Рис. 21
Энергия спутника в поле тяготения Земли (*а*); энергия электрона в атоме (*б*)

ных наблюдаемых величин. Так в науке наряду с волнами электромагнитного поля появились волны вещества.

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.

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.

*В **новый** портфель*

Гипотеза о волнах вещества 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). Оказывается, 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 проведен лишь в 1927 г. В 1926 г. Эрвин Шредингер 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 **вероятности**.

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.

Все процессы в микромире имеют вероятностный характер. Путем расчетов может быть определена только вероятность протекания того или иного процесса.

*В **новый** портфель*

В заключение вернемся 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, производя наблюдения в макромире. 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 отброшено?
- ▷ 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 выполните задания с предлагаемыми мысленными экспериментами. После выполнения всех заданий сделайте окончательные выводы.

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

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

Архип Куинджи. После дождя. Радуга

Замечательное природное явление радуга — не больше чем результат взаимодействия световой волны с мельчайшими капельками воды.

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

1. Будем считать, что ширина щели (рис. 22, *а*) равна 1 мкм. Будем мысленно увеличивать ширину щели. Оказывается, что постепенно четкость дифракционной картины будет пропадать (рис. 22, *б*, *в*), и при ширине щели 0,1 мм на экране будет видна светлая полоска, соответствующая прямолинейному распространению света (рис. 22, *г*). Наоборот, при уменьшении ширины щели четкость 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.

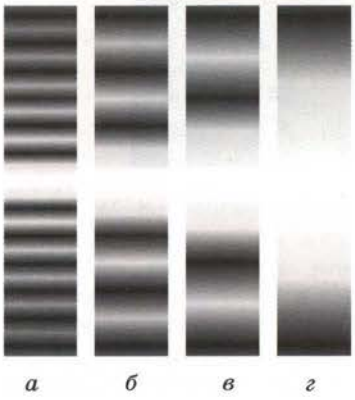


Рис. 22.
Дифракция света при различной ширине щели

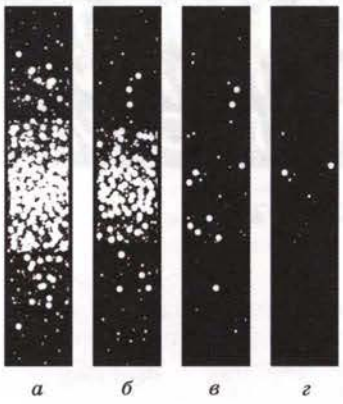


Рис. 23
Последовательность фотографий при уменьшении экспозиции и интенсивности света

ПОДСКАЗКА

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

3. Продолжим мысленный эксперимент по наблюдению дифракции на щели. Будем «фотографировать» интерференционную картину, постепенно уменьшая экспозицию (время, в течение которого открыт затвор фотоаппарата) и интенсивность светового пучка (рис. 23). Видно, что изображение вначале становится зернистым, затем полосы разбиваются на отдельные точки, число которых постепенно уменьшается. Сформулируйте гипотезу, объясняющую этот эксперимент.

ПОДСКАЗКА

Процесс получения фотографии состоит в следующем. Каждый фотон, попадающий на фотопленку, реагирует с одной молекулой галоидного серебра (AgCl, AgBr или AgI), восстанавливая металлическое серебро. При проявлении пленки вокруг такого атома серебра образуется еще некоторое количество атомов серебра и видимая точка. Из этих точек и складывается фотографическое изображение. На рисунке 23 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 дает качественно похожую картину. Очевидно, что в данных экспериментах проявляются дискретные (корпускулярные) свойства как электромагнитного поля, так и электронов.

1. Как частицы вещества (электроны), так и частицы электромагнитного поля (фотоны) обладают волновыми и корпускулярными свойствами.
2. 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.
3. Корпускулярные свойства проявляются при взаимодействии частиц (например, электронов с фотонами или электронов с электронами), если число частиц, участвующих во взаимодействии, мало.

В новый портфель

25 ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МИКРОМИРЕ

Урок-лекция

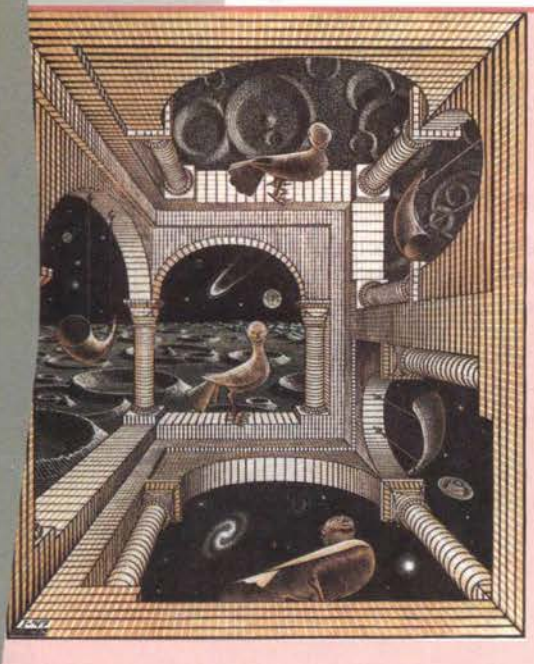
Отыщи всему начало, и ты многое поймешь.

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 Сильные взаимодействия • Слабые взаимодействия • Короткодействующие взаимодействия • Адроны • Лептоны • Нейтрино

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



Мориц 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?

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

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 очень короткой длины волны, а α-излучение — поток ядер атома 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 ядре.

При помощи 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 дает 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 назвали **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 этого 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^{-13} см. Энергия этих 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. Расчеты показали, что при распаде нейтрона на протон и электрон не выполняется закон сохранения энергии, энергия после реакции оказывалась меньше энергии до реакции. Этот вывод можно сделать, определяя массу нейтрона и продуктов распада и применяя выведенное соотношение, связывающее массу частиц и энергию: $E = mc^2$.

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

Но с каким взаимодействием связана внутренняя энергия, выделяющаяся при распаде нейтрона? Ядерные реакции, подобно химическим реакциям, обладают свойством обратимости. В обратной реакции протон, электрон и нейтрино должны взаимодействовать 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 еще одного фундаментального взаимодействия. Поскольку энергия, высвобождающаяся при распаде нейтрона, существенно меньше, чем энергия, выделяющаяся при ядерных реакциях с участием сильного взаимодействия, новое взаимодействие назвали **слабым взаимодействием**. Слабое взаимодействие настолько же универсально, как и гравитационное, в нем участвуют все частицы. Как и сильное взаимодействие, оно короткодействующее, т. е. практически исчезающее на расстояниях, бóльших 10^{-16} см. 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 сближаются по величине.

Слабое взаимодействие — универсальное взаимодействие между любыми частицами. Это короткодействующее взаимодействие, проявляющееся на расстояниях, меньших 10^{-16} см. 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 нами. Ну что изменится в нашей жизни, если какое-либо из взаимодействий исчезнет? Попытаемся разобраться, зачем нам нужно каждое из четырех 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 должны знать из курса физики. Именно оно является источником энергии Солнца и других звезд. Однако это еще не все. Не будь сильного взаимодействия, из всех ядер атомов остались бы только самые простейшие — ядра атома водорода, т. е. протоны. Жизнь на основе только атомов и молекул водорода, конечно, невозможна. Исчезни сильное взаимодействие, и мы превратимся в молекулярный водород.

Роль слабого взаимодействия объяснить несколько сложнее. Как уже говорилось, жизнь всем земным организмам дает энергия Солнца, которая выделяется при ядерных реакциях в недрах Солнца. В этих реакциях при слиянии легких ядер образуются тяжелые ядра. 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 звезд просто прекратилось бы.

Сведения об этих взаимодействиях мы представим 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^{-13} см	Микромир, уровень атомных ядер	Адроны $r \sim 10^{-13}$ см
Слабое	10^{-16} см	Микромир — взаимопревращение частиц	Все частицы

??

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

Каждое из четырех фундаментальных взаимодействий необходимо для существования жизни.

В ***новый*** *портфель*

26 ЕДИНСТВО МНОГООБРАЗИЯ. МИКРОМИР

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?

Ключевые слова Тождественные частицы • Молекулы-изомеры • Кварки • Частицы — переносчики взаимодействия

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

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.

Макроскопическое проявление движений микрочастиц может быть разнообразным. Это движение видимых частичек пыльцы в опыте по наблюдению броуновского движения. Это показание амперметра при изучении явления фотоэффекта (см. рис. 19, § 22). Существуют другие разнообразные методы. Например, в переохлажденном паре быстро движущаяся частица может оставлять след в виде микроскопических капелек воды, подобно следу реактивного самолета.

В макромире ситуация совершенно иная. Мы не сможем найти две совершенно одинаковые сосны. Мы не сможем изготовить два совершенно одинаковых бильярдных шара.

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

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 своем составе ядро размерами порядка 10^{-12} см и электронную оболочку размером порядка 10^{-8} см. Разнообразие атомов обусловлено различным зарядом их ядер.

Несмотря на то что число электронов в различных атомах изменяется от еди-

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

В новый портфель

Найдите в тексте параграфа мысль, которую подтверждает эта иллюстрация.

Ойген Бац. Цветовой круг из 6 частей

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

Атомы и молекулы представляют собой структуры, образованные ядрами и электронами, связанными между собой электромагнитным взаимодействием. Размеры атомов и расстояния между ядрами молекулы имеют величины порядка 10^{-8} см.

В ***новый*** *портфель*

ницы 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 атома. 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.

ЯДРА АТОМОВ. Как уже говорилось, связь нуклонов (нейтронов и протонов) в ядре осуществляется сильным взаимодействием. Будучи короткодействующим, это взаимодействие связывает между собой 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.

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. 24). Это приводит к тому, что ядрам с малым числом нуклонов энергетически выгоднее объединиться, а ядрам с большим числом нуклонов — распасться.

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.

Ядра атомов представляют собой сферические структуры, имеющие размеры порядка 10^{-12} см и состоящие из непрерывно движущихся нуклонов (нейтронов и протонов), связанных между собой сильным взаимодействием. Нуклоны в ядре плотно «упакованы», поэтому объем ядра приблизительно пропорционален числу нуклонов.

В ***новый*** *портфель*

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 атомов в таблице Менделеева. Анализируя свойства различных адронов (заряд, спин, процессы взаимопревращений), Мюррей Гелл-Ман в 1964 г. выдвинул гипоте-

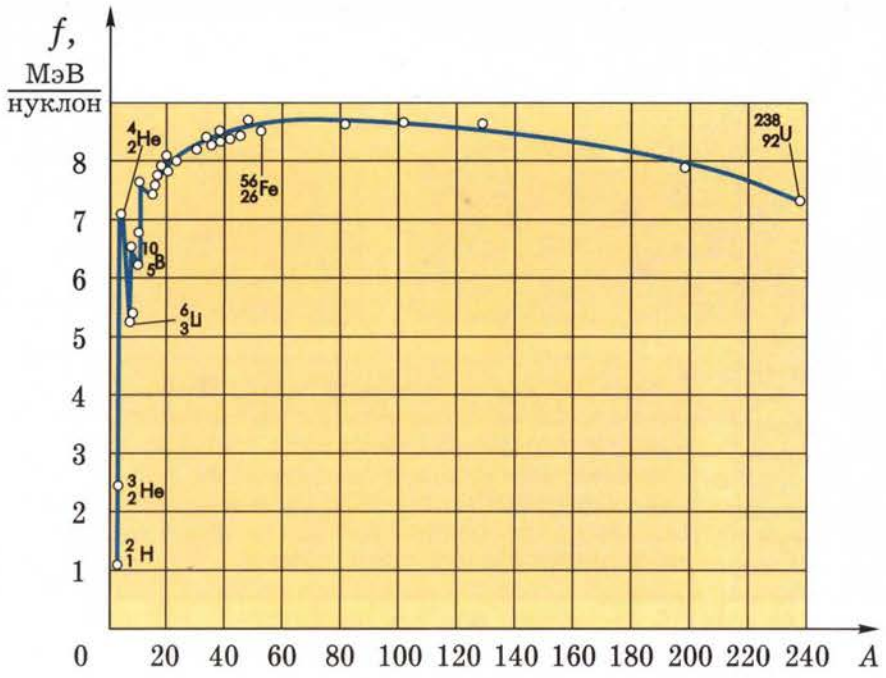


Рис. 24
Удельная энергия связи нуклонов в ядре (энергия, приходящаяся на один нуклон)

зу о том, что все они состоят из «еще более элементарных» частиц, которые назвал **кварками**.

В соответствии с этой гипотезой такие адроны, как протон и нейтрон, состоят из трех кварков, другие же адроны — из двух или трех кварков. Размеры кварков сравнимы с размером электрона. Поскольку эти размеры (порядка 10^{-16} см) много меньше размера нуклона (порядка 10^{-13} см), 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.

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 Финегану», где чайки кричат: «Три кварка для мистера Марка». Так что слово «кварк» — это просто абстракция, крик чаек.

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

??

- 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?

С точки зрения 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 взаимодействия.

*В **новый** портфель*

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 чем единство мегамира?

Ключевые слова Галактика • Звездные скопления • Планетные системы • Звезды • Астероиды • Кометы • Метеороиды • Солнечный ветер • Сила гравитации • Вселенная

*Из **старого** портфеля* Закон всемирного тяготения (Физика, 9 кл.). Строение Солнечной системы. Солнце. Планеты (Природоведение, 3—4 кл. Естествознание, 5 кл.).

КАК УСТРОЕНА ВСЕЛЕННАЯ. Вселенная — это огромный мир, в котором мы живем. Основные структурные образования Вселенной — **галактики.** Это массивные звездные системы, состоящие из сотен миллиардов звезд и газопылевых туманностей. По внешнему виду галактики разделили на

Рис. 25
Галактика Туманность Андромеды

Рис. 26
Эллиптическая галактика

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. 25) (расстояние до нее примерно 2,3 млн св. лет), Сомбреро в созвездии Девы. Самые близкие к нашей Галактике неправильные галактики — Большое и Малое Магеллановы облака. На рисунке 26 изображена одна из эллиптических галактик.

Рис. 27
Наша Галактика
(Млечный Путь)

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

В нашей Галактике (рис. 27) примерно двести миллиардов звезд, ее диаметр около 100 тыс. св. лет. Звезды могут принадлежать рассеянным или шаровым звездным скоплениям, входить в звездные системы или оставаться одиночными. Именно у одиночных звезд, 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 млрд лет.

Расстояния между соседними галактиками сравнимы с их размерами. Галактики образуют скопления и сверхскопления, из которых и строится, по-видимому, ячеистая структура Вселенной (рис. 28).

СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА. Солнечная система — это система небесных тел, объединенных 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 девять больших планет: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун, Плутон; их спутники, а также малые тела Солнечной системы: **астероиды**, **кометы**, **метеороиды** (небольшие космические тела размерами несколько метров и меньше); **солнечный ветер** — по-

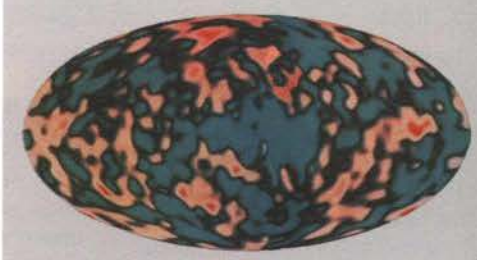


Рис. 28
Ячеистая структура Вселенной

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

В последние годы ученые открывают астероиды на окраинах Солнечной системы в зоне планет-гигантов и далеко за Плутоном. Это астероиды пояса Койпера. По предположению датского астронома Оорта, на окраине Солнечной системы находится резервуар кометных ядер (облако Оорта).

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.

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, звезды в звездных системах — вокруг общего центра масс, спутники — вокруг планет, звезды — вокруг центра галактик. Гравитация во многом определяет эволюцию планет, звезд, галактик, Вселенной в целом.

Относительные расстояния до планет, видимых невооруженным глазом, определил еще в XV в. Николай Коперник. Уран был открыт английским астрономом Вильямом Гершелем в 1781 г. при наблюдении в телескоп, а положения на небе Нептуна и Плутона были сначала вычислены с использованием закона всемирного тяготения по наблюдениям за планетами-соседями. Нептун был открыт «на кончике пера» в 1846 г. англичанином Адамсом, французским астрономом Леверье и немецким астрономом-наблюдателем Галле. Плутон в 1930 г. открыл Томбо. Начиная с 1801 г. астрономы открывают малые планеты — астероиды. Оказалось, что большинство из них движется в довольно широкой зоне между планетами Марсом и Юпитером. Самый крупный астероид основного пояса астероидов — Церера. Его диаметр — около 1000 км. Сейчас открыто несколько десятков тысяч астероидов, среди них и астероид Гаспра (рис. 29). К некоторым из них подлетали космические аппараты, получены их снимки.

Рис. 29
Астероид Гаспра

Вселенная как система представляет собой единство многообразия иерархически расположенных объектов, движением которых управляет в основном сила гравитации. Согласно наблюдениям, в нашей Вселенной действуют единые законы. Основные структурные элементы Вселенной — галактики, в состав которых, в свою очередь, входят звездные системы, газовые и пылевые туманности, планетные системы.

В ***новый*** *портфель*

??

- ▷ 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 вперед?

28 СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА И ПЛАНЕТАРНАЯ МОДЕЛЬ АТОМА

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? Закон всемирного тяготения. Планетарная модель атома.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ На примере двух систем, описываемых одинаковыми математическими уравнениями, сравнить различные характеристики движения микромира и мегамира.

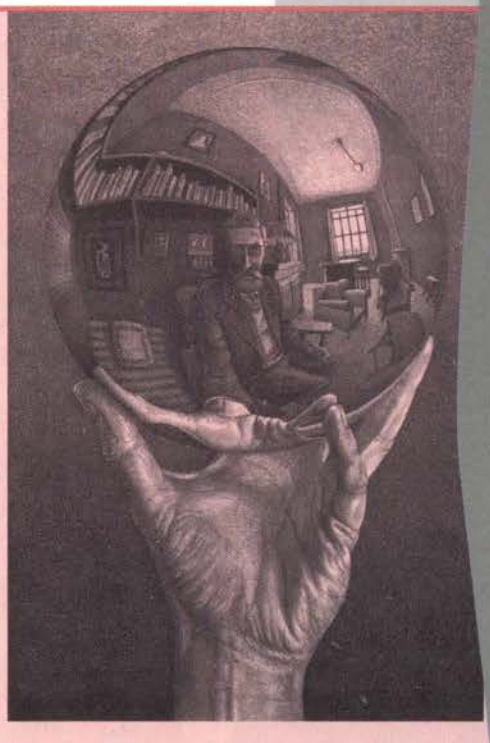
ПЛАН РАБОТЫ Последовательно выполняя задания, рассчитать параметры, характеризующие движение Земли вокруг Солнца и электрона вокруг протона в планетарной модели атома водорода. Сравнить эти параметры. Результаты оформить в виде таблицы.

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 Солнце — Земля и планетарную модель атома водорода (рис. 30).

Будем считать, что движение Земли и движение электрона в атоме водорода происходит по окружностям. Примем для диаметра атома водорода значение 10^{-10} м, а для радиуса орбиты Земли — 150 млн м. Все остальные необходимые величины приведены в таблице:

Величина	Значения в единицах СИ
Заряд электрона	$1{,}6 \cdot 10^{-19}$
Масса электрона (г)	$9{,}1 \cdot 10^{-31}$
Масса протона (г)	$1{,}67 \cdot 10^{-27}$

В соответствии с законом всемирного тяготения сила притяжения двух тел равна $F_g = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$ (вспомните смысл величин, входящих в это выражение). Сила электрическо-



Мориц 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

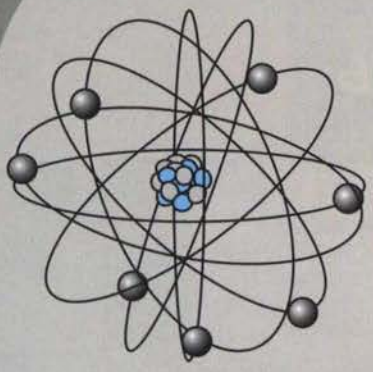


Рис. 30. Планетарная модель атома

го взаимодействия между двумя зарядами определяется выражением: $F_e = k\frac{g_1 g_2}{r^2}$. Коэффициент k зависит от выбора системы единиц, в системе СИ он равен $9 \cdot 10^9$.

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 чем дело? Нельзя сравнивать силу, действующую на весь земной шар и на электрон. Вычислите силу, действующую со стороны Солнца на один электрон, находящийся на земном шаре, и сравните ее с электрической силой в атоме водорода.

ПОДСКАЗКА

Заряды в макроскопических телах и в телах мегамира (звезды, 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 радиуса 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 и Земли, 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: $E_g = -\frac{Gm_1 m_2}{r}$ (знак минус здесь важен, его нельзя терять). 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. Еще одной важной сохраняющейся величиной является момент импульса (подробнее см. § 36). 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 взаимодействие 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

Положите момент импульса электрона равным $h/2\pi$ и 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 немногое 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 и каковы критерии их выделения? Почему необходимо осознавать иерархичность и системную организацию природы?

Ключевые слова Биологические системы • Иерархические уровни организации • Биополимеры • Организм • Популяция • Экосистема • Биосфера

Из старого портфеля Общие представления и понятия из курса биологии 7—9 кл.

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

Любой живой организм устроен очень сложно. Его составляют определенным 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.** Данная система, построенная на основе белков и нуклеиновых кислот, является открытой, 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, включая рост, развитие и размножение; затем возвращают назад в окружающую среду продукты распада и переработанную энергию в виде тепла, мышечного сокращения, нервных импульсов и т. д.

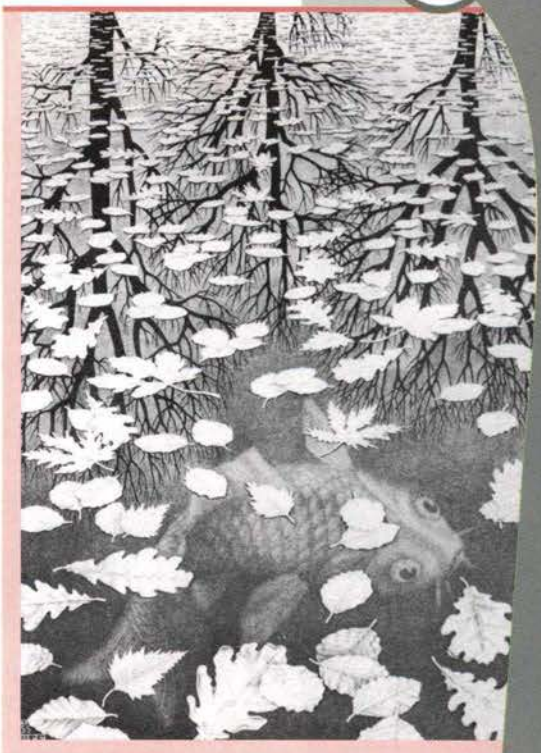
Живые организмы способны регулировать свои отношения с окружающей средой. Это выражается в явлении гомеостаза, т. е. в способности организмов противостоять колебаниям параметров внешней среды (температура, влажность и т. п.) и поддерживать в определенных пределах постоянство своего состава и свойств.

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

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 ее 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 передается от родителей к потомкам, т. е. обеспечивается наследственность. У живых существ, будь то амеба 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, все 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.



Мориц Эшер. Три мира

Вот те, которые с древних времен находятся в единстве.

Лао-цзы

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

УРОВНИ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИЗНИ. Биологическим системам присуща иерархичность организации. Это означает, что в структуре живых систем можно выделить разные уровни, причем каждый последующий уровень включает в себя все предыдущие. Речь при этом идет 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 ученый-генетик Николай Владимирович Тимофеев-Ресовский выделил четыре основных иерархических уровня: молекулярно-генетический, онтогенетический, популяционно-видовой и экосистемный (рис. 31).

Молекулярно-генетический уровень — это уровень биополимеров, сложных макромолекул, которые присущи только живым организмам. В первую очередь речь идет 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 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.).

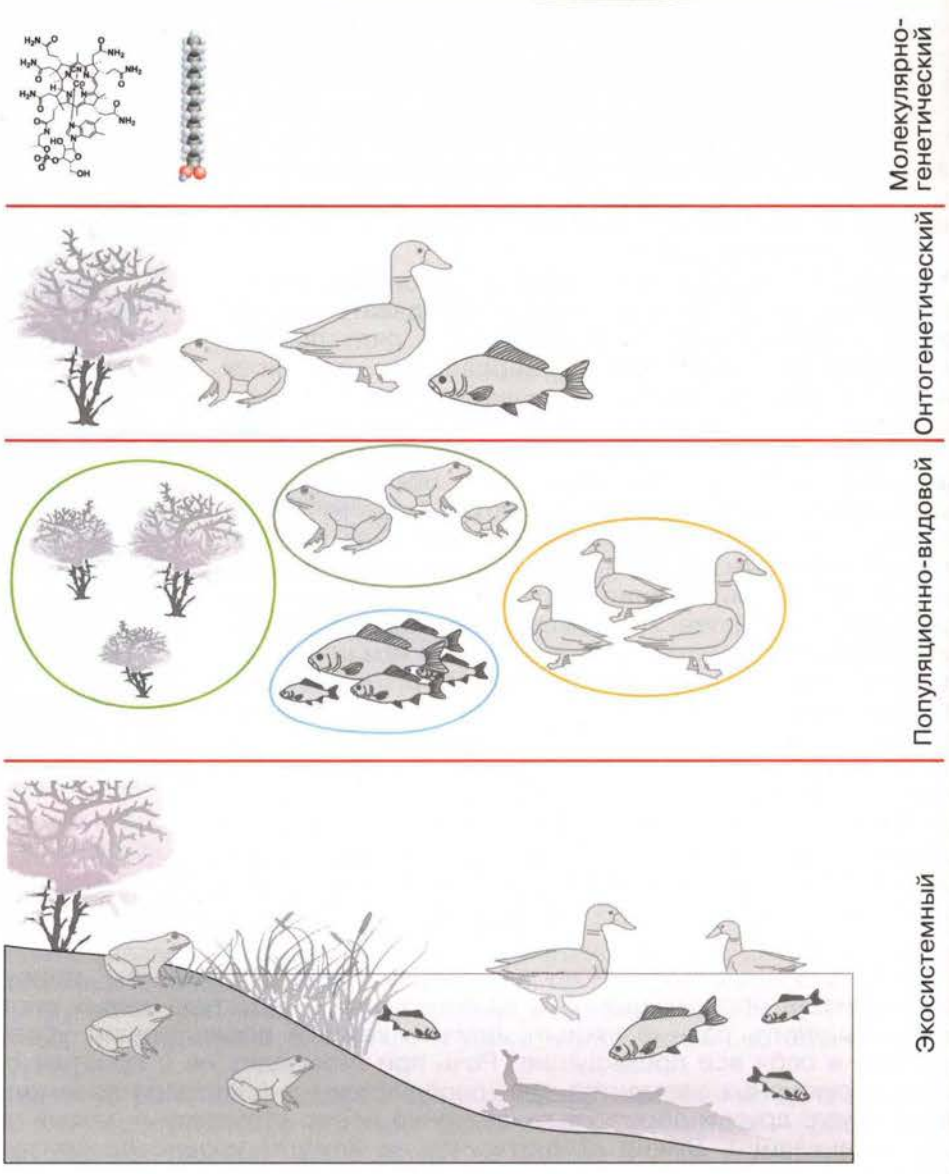


Рис. 31
Иерархические уровни организации живого

Современные технологии позволяют ученым проводить свои исследования именно на молекулярном уровне. Сформировалась новая отрасль биологии — молекулярная биология и ее 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 ее преобразований с момента появления на свет при оплодотворении яйцеклетки (при половом размножении) или делении материнского организма (при бесполом размножении) и до конца ее жизни. Этот уровень организации первый в системе иерархии, для которого характерна самодостаточность. Действительно, только организм (но никак не молекулы) обладает способ-

ностью к относительно автономному существованию во внешней среде. Все живые организмы имеют клеточное строение.

Неклеточной формой жизни принято считать вирусы. Их появление стало возможным после формирования клеток. 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 мы рассматриваем уже не отдельные организмы, а группы организмов. Ключевую роль на популяционно-видовом уровне играет **популяция** — совокупность особей (организмов) одного вида, которые населяют определенную территорию и взаимодействуют друг с другом.

Внутри популяции действуют механизмы, которые контролируют ее численность, пространственное распределение, 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 ее генофонд (совокупность генов одной группы 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**, совокупности популяций разных видов во взаимосвязи со средой обитания, где проходит поток энергии и осуществляется круговорот веществ. 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 четких 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 — амебы, инфузории, жгутиконосцы и др.
Среди многоклеточных организмов различают колониальные, состоящие из группы клеток, которые остались связанными друг с другом после деления (например, колония зеленой водоросли вольвокс), и тканевые. В составе ткани все клетки специализированы и обладают сходной структурой и функцией. К тканевым организмам относят высшие растения и животных. Ткани разных типов у них формируют отдельные органы, связанные в системы органов, из которых уже слагается организм.

Экосистемой может быть и небольшая 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, — экосистемы тундры, лесов, степей, пустынь и т. п.

??

- В чем состоит сущность принципа иерархии уровней организации биологических систем?
- Какое значение для биологических систем имеет явление гомеостаза?
- Почему к важнейшим признакам живых систем относят способность к воспроизводству и эволюции?

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), а на экосистемном — группы популяций разных видов организмов и среды их обитания.

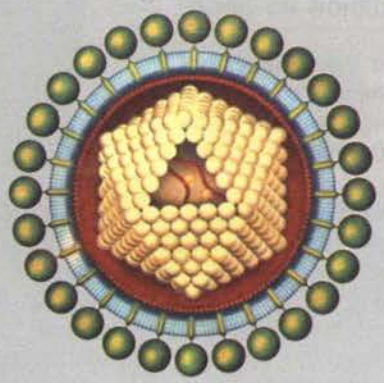
В ***новый*** *портфель*

30 МОЛЕКУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА ЖИВОГО

Урок-лекция

Смотри в корень!
Козьма Прутков

? Какие химические элементы входят в состав живой клетки? Какую роль играют сахара и липиды? Как устроены белки и как их молекулы приобретают определенную пространственную форму? 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 генетической информации?



Ретровирус

Удивительные геометрические формы демонстрируют вирусы!

Ключевые слова Ферменты • ДНК и РНК • Репликация

Из старого портфеля Химические элементы. Типы химических связей. Липиды. Сахара. Аминокислоты. Полимеры. Белки. Катализаторы. Нуклеиновые кислоты (Химия, 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.

Более 90% массы клетки составляют углерод, водород, азот и кислород. В значительно меньших количествах в клетке встречаются 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.

Например, недостаток в организме иода, необходимого для производства гормона щитовидной железы — тироксина, приводит к уменьшению выработки этого гормона и, как следствие, к развитию тяжелых заболеваний, в том числе кретинизма.

Бóльшую часть содержимого клетки составляет вода. Многие вещества поступают в клетку или выводятся из нее в виде водных растворов, в водной среде протекает и большинство внутриклеточных реакций. Более того, вода принимает и непосредственное участие в ряде химических реакций, отдавая образующимся соединениям ионы H^+ или OH^-. Благодаря своей высокой теплоемкости вода стабилизирует температуру внутри клетки, делает ее менее зависимой от колебаний температуры в окружающей клетку среде.

Кроме воды, составляющей 70% от объема клетки, в ее состав входят органические вещества — соединения углерода. Среди них различают небольшие молекулы, содержащие до 30 атомов углерода, 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 все же основа жизни на уровне молекул — это белки и нуклеиновые кислоты, о которых поговорим более подробно.

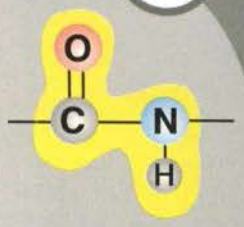


Рис. 32
Пептидная связь

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, причем число звеньев в такой цепочке может колебаться от десятка до нескольких тысяч. Соседние аминокислоты связаны друг с другом особым типом химической связи, которая носит название **пептидной**. Связь эта образуется в процессе синтеза белка, когда карбоксильная группа одной аминокислоты связывается с примыкающей к ней аминогруппой другой аминокислоты (рис. 32).

Все 20 видов аминокислот участвуют в построении белков. Однако порядок их чередования в белковой цепочке самый разный, что создает возможность для огромного количества сочетаний, а следовательно, и для построения многочисленных типов белковых молекул. Следует отметить, что только растения способны синтезировать все 20 аминокислот, необходимых для построения белков. Животные же получают ряд аминокислот, называемых незаменимыми, питаясь растениями.

Последовательность аминокислот в молекуле белка обозначают как **первичную структуру** белка (рис. 33). Различают и **вторичную структуру** белка, под которой понимают характер пространственного расположения отдельных фрагментов цепи аминокислот. Во вторичной структуре участки молекулы белка имеют форму спиралей или складчатых слоев. В их формировании важная роль принадлежит водородным связям, устанавливающимся между кислородом и водородом пептидных связей (—N—H ··· O=C—) разных аминокислот.

Под **третичной структурой** белка подразумевается пространственное расположение всей аминокислотной цепи.

Третичная структура имеет прямое отношение к форме молекулы белка, которая может быть нитевидной или округлой. В последнем случае молекула свертывается таким образом, что ее гидрофобные участки оказываются внутри, а полярные гидрофильные группы — на поверхности. Образующаяся в результате пространственная структура носит название **глобула**.

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**

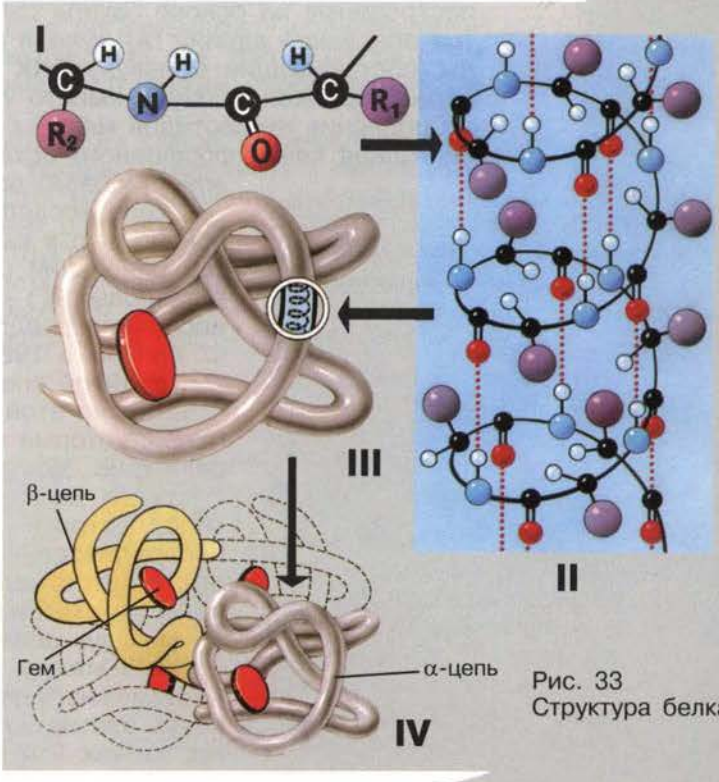


Рис. 33
Структура белка

белка. Например, молекула белка гемоглобина состоит из четырех глобул, содержащих небелковую часть — гем.

Самоорганизация — одно из уникальных свойств белков, лежащее в основе многих выполняемых ими функций. В частности, на специфичности пространственной структуры белковой молекулы основан механизм распознавания ферментами (биологическими катализаторами) своего **субстрата**, т. е. молекулы, которая после взаимодействия с ферментом испытывает те или иные химические преобразования и превращается в **продукт**.

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

В качестве ферментов выступают белки, определенный 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.

Вы убедились, что в основе всех свойств белка лежит его первичная структура — последовательность аминокислот в молекуле. Ее 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. Нуклеотиды состоят из азотсодержащего циклического соединения (азотистого основания), пятиуглеродного сахара и остатка фосфорной кислоты. Из них построены макромолекулы нуклеиновых кислот.

В состав молекул **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), содержат дезоксирибозу, а вместо урацила — тимин (Т).

Сцепление нуклеотидов между собой в молекуле ДНК (РНК) происходит благодаря связи фосфорного остатка одного нуклеотида с дезоксирибозой (рибозой) другого (рис. 34).

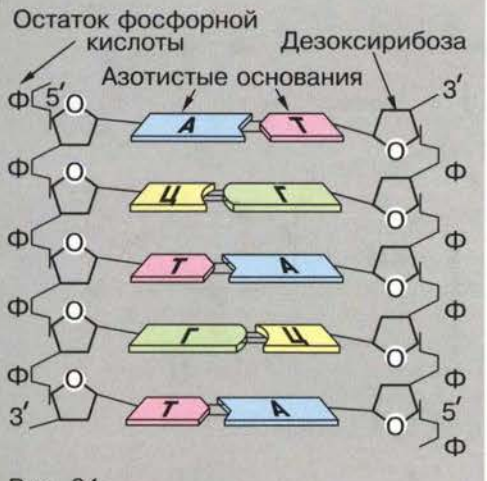


Рис. 34
Состав цепи и строение молекулы ДНК

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 свернуты в виде правозакрученной спирали (рис. 35).

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 на-

столько, чтобы образовать между собой водородные связи.

Важнейшая особенность ДНК заключается в возможности ее самоудвоения — **репликации**, которая осуществляется при участии группы ферментов (рис. 36).

В определенных участках, в том числе и на одном из концов, двуцепочной спиральной молекулы ДНК происходит разрыв водородных связей между цепями. Они 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 идет в точном соответствии с принципом комплементарности: против каждого А встает Т, против Г — Ц и т. д. В итоге получаются две новые молекулы ДНК, у каждой из которых одна цепь осталась от исходной молекулы ДНК, а вторая — новая. При этом две образующиеся при репликации молекулы ДНК идентичны исходной.

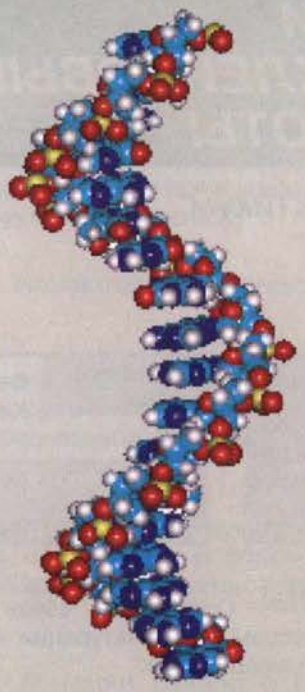


Рис. 35
Модель структуры ДНК

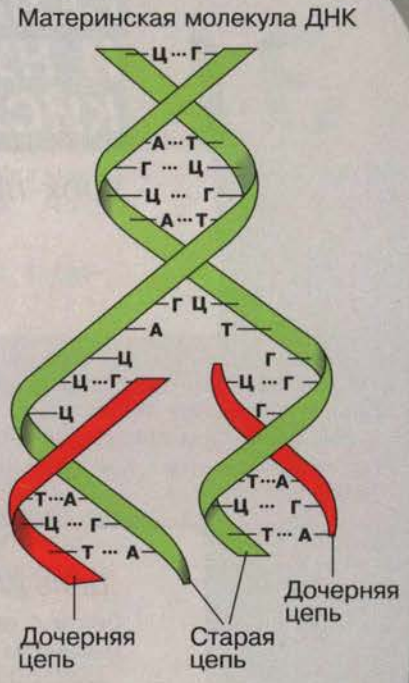


Рис. 36
Схема репликации ДНК

Способность молекулы ДНК к самокопированию и лежит в основе передачи наследственной информации живыми организмами. Последовательность нуклеотидных оснований в молекуле ДНК как раз и служит тем шифром, которым закодирована информация о белках, необходимых для функционирования организма.

В отличие от 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.

??

- Почему белки называют молекулами жизни?
- Какова роль пространственных структур белков в процессах жизнедеятельности клетки?
- Какой принцип лежит в основе процессов репликации ДНК?

Молекула ДНК состоит из двух свернутых в спираль комплементарных цепей нуклеотидов, которые удерживаются вместе водородными связями, образующими А—Т и Г—Ц пары оснований. Последовательность нуклеотидов 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

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?

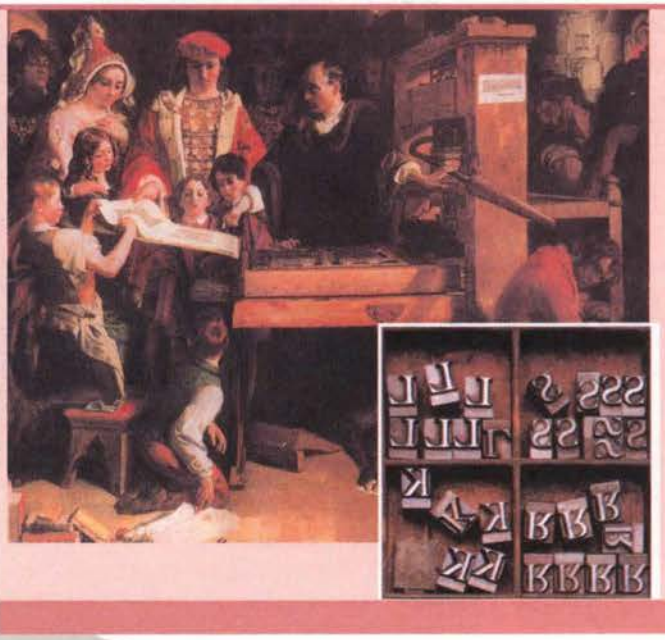
Ключевые слова Белки • Денатурация • ДНК • Репликация • Комплементарность

Из старого портфеля Материал § 30.

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 представьте себе пространственную организацию белковых молекул. Проследите ее связь с функциями, выполняемыми белками (на примере ферментов). Более детально изучите механизм репликации молекулы ДНК.

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



Какова ассоциативная связь между этими иллюстрациями и содержанием параграфа?

Неизвестный художник.
Эдуард IV во время посещения одной из лондонских типографий

Наборная касса, разделенная на ячейки

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

ПОДСКАЗКА

Формирование высокоорганизованной молекулы белка, т. е. обладающей структурой сложнее первичной, естественно, сопровождается существенным уменьшением энтропии системы. При повышении температуры неизбежно наступает момент, когда такая структура становится термодинамически неустойчивой. Слабые связи (нековалентные) при этом 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 определенных функций.

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

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 при воспроизведении генома (совокупность всей ДНК в гаплоидном наборе хромосом) млекопитающих, ДНК которых состоит из 3 млрд пар нуклеотидов, возникает не более 3 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, которые человек получает 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 • Мембрана • Транспортные белки • Органелла • Рибосома • Эндоплазматическая сеть • Комплекс Гольджи • Митохондрия • 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 слагается 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 **клеточная теория**.

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 внес в 1925 г. французский исследователь Э. Шаттон, который предложил разделить все живые организмы на **прокариот** и **эукариот**. Первые не обладают оформленным ядром — это бактерии, вторые же обладают — это все остальные живые существа. Вирусы под постулаты клеточной теории не попадают — это неклеточная форма существования жизни.

Долгое время изучение клеток велось при помощи световых микроскопов. Разрешающая способность этих приборов не превышает 0,4–0,7 мкм, что не позволяет детально исследовать особенности организации структур, входящих в состав клеток. Только с появлением электронных микроскопов, разрешающая способность которых достигает тысячных долей микрометра, 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 **плазматическую мембрану**, цитоплазму и ядро (рис. 37). Цитоплазма представляет собой жидкую среду клетки (цитозоль) вместе с погруженными в нее 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. 38). Они состоят из двойного слоя липидов (в основном фосфолипидов), в который встроены белки.

Наружная плазматическая мембрана клеток отделяет ее содержимое от внешней среды, благодаря чему поддерживается определенный химический состав цитоплазмы. Для нормального функционирования клетка должна непременно обмениваться веществами с окружающей средой. Молекулы проникают в клетку и выводятся из нее 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. 39).

В результате этих процессов субстрат (жидкий при пиноцитозе и твердый при фагоцитозе) заключается мембраной в пузырек, который оказывается в цитоплазме. В цитоплазме пузырек 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 непереваренные остатки либо выводятся наружу, либо накапливаются в цитоплазме.

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 определенные ферменты и исходные вещества, необходимые для протекания той или иной химической реакции.

Синтез сахаров и жиров приурочен к гладкой эндоплазматической сети (ЭПС). Синтез же белков осуществляется на рибосомах — мельчайших

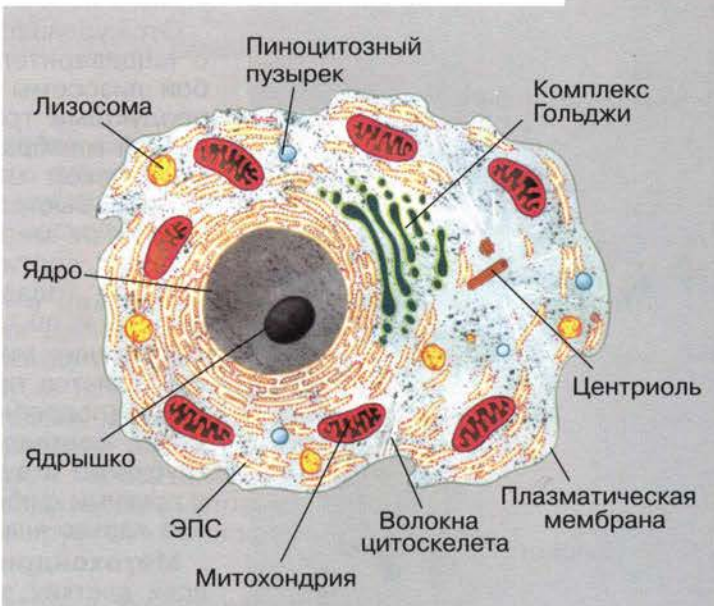


Рис. 37
Обобщенная схема строения животной клетки

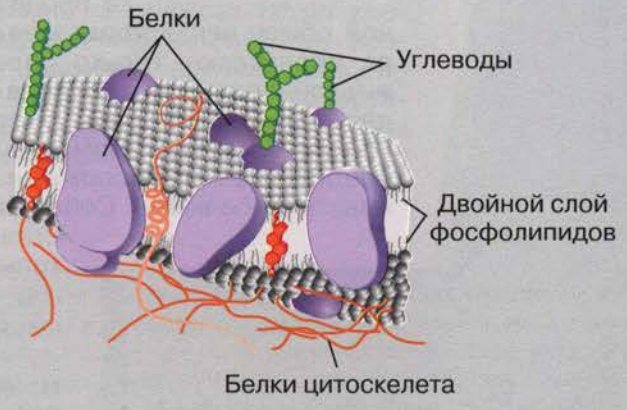
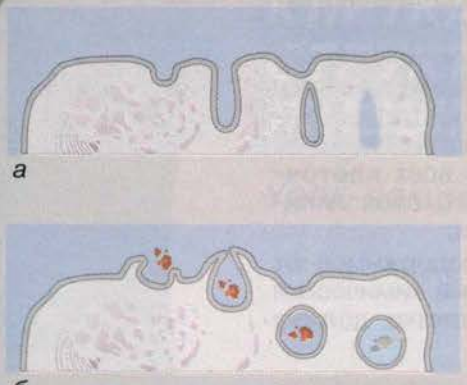


Рис. 38
Строение плазматической мембраны



а

б

Рис. 39
Пиноцитоз (*а*) и фагоцитоз (*б*)

Рис. 40
Схема строения комплекса Гольджи

органеллах (15—35 нм), образованных из РНК и белка и состоящих из двух частей. Рибосомы могут свободно располагаться в цитоплазме либо прикрепляться к уплощенным цистернам ЭПС, которая в этом случае называется шероховатой (ШЭПС). В процессе синтеза белки накапливаются в полости цистерн ШЭПС, откуда в виде окруженных мембраной пузырьков доставляются через цитоплазму к **комплексу Гольджи** (рис. 40). В этой клеточной органелле, имеющей вид стопки плоских цистерн и пузырьков, белки подвергаются обработке ферментами и сортируются, причем каждый тип конечного белкового продукта попадает в отдельный пузырек, формирующийся за счет выпячивания мембраны цистерн комплекса Гольджи.

Отшнуровавшиеся от комплекса Гольджи пузырьки с пищеварительными ферментами представляют собой лизосомы (см. выше). 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 при помощи белков — молекулярных моторов (подробнее об этом см. в § 64). Эти же белки могут составлять отдельные нити (фибриллы) или трубчатые структуры (микротрубочки), которые вместе с другими фибриллярными белками образуют внутренний каркас клетки — **цитоскелет**.

Митохондрии (рис. 41) имеются практически во всех клетках эукариот. Они обеспечивают процессы клеточного дыхания, в результате которого вырабатывается бóльшая часть энергии, необходимой для поддержания жизнедеятельности клетки.

Ядро снаружи одето ядерной оболочкой, состоящей из внутренней и наружной мембран. Ядерная оболочка пронизана порами. Через поры происходит основной обмен веществами между ядром и цитоплазмой. Поры оболочки ядра пропускают только определенные макромолекулы, так что состав жидкой среды внутри ядра (кариоплазмы) отличается от характерного для окружающей ядро цитоплазмы. Здесь концентрируются соединения, обеспечивающие нормальную работу генетического аппарата, который представлен хромосомами. **Хромосомы** — 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 ее концов.

В ядрах клеток имеются одно или несколько ядрышек, которые производят рибосомы.

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

Все живые существа, несмотря на их многообразие, обладают клеточным строением. 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 одетых мембраной пузырьков (пиноцитоз и фагоцитоз). В клетках существует система транспортировки продуктов в мембранных пузырьках, причем ключевую роль в этом процессе играет комплекс Гольджи. Генетический аппарат клетки представлен хромосомами, которые сосредоточены в ядре.

В ***новый*** *портфель*

Рис. 41
Схема строения митохондрии

ДЕЛЕНИЕ КЛЕТОК ЭУКАРИОТ. Размножение клеток эукариот осуществляется путем их деления, в ходе которого дочерние клетки получают полные копии генетического материала родительской клетки. Этот процесс получил название **митоз** и состоит из нескольких последовательно сменяющих друг друга фаз (рис. 42).

В период между двумя делениями — в *интерфазе* — клетка реализует все функции, которые характерны для данного типа клеток (рис. 43). В конце 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 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 при помощи 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), причем 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.

ОБРАЗ ЖИЗНИ На жизнь клетки оказывает влияние концентрация ионов K^+ и Na^+. 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 приемом специальных препаратов. Однако при этом необходимо соблюдать рекомендации врачей и правильную дозировку.

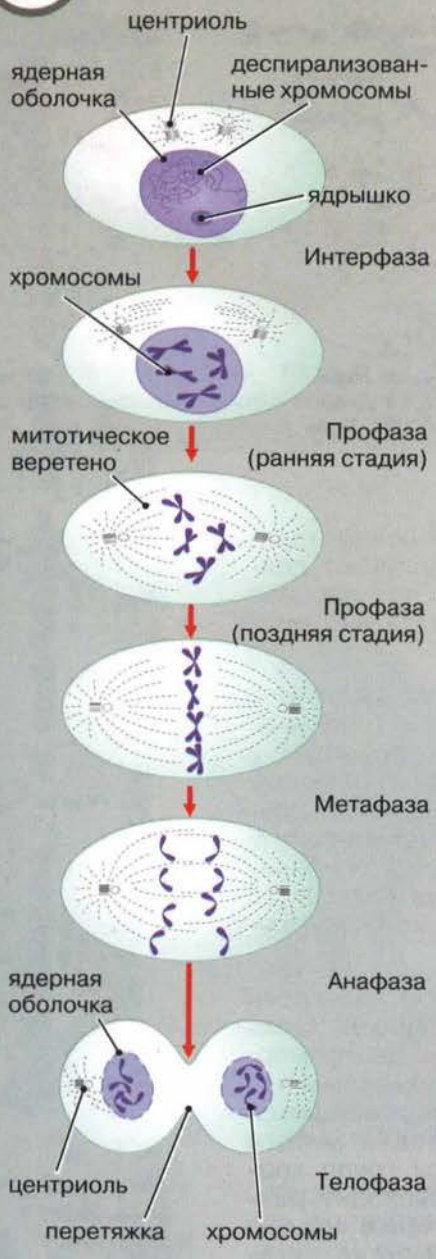


Рис. 42. Митоз

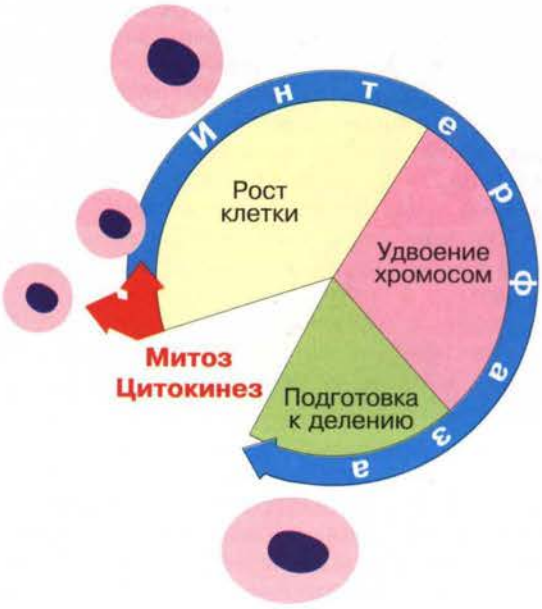


Рис. 43
Схема клеточного цикла

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

В ***новый*** *портфель*

??

- ▷ 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?

33 РАЗНООБРАЗИЕ ФОРМ ЖИЗНИ

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 отчетливо, 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?

Ключевые слова Дифференциация клеток • Бактерия • Нуклеоид • Вирус • Бактериофаг

Из старого портфеля Строение растительной клетки. Понятие о тканях. Одноклеточные простейшие и водоросли. Бактерии и вирусы. Грибы. Растения. Животные (Биология, 6—9 кл.). Биосфера (География, 6—7 кл.).

РАЗЛИЧИЯ В СТРОЕНИИ ЖИВОТНЫХ И РАСТИТЕЛЬНЫХ КЛЕТОК. Описание общего плана строения клетки эукариот в основном рассмотрено на примере животной клетки. Организация растительной клетки имеет некоторые свои специфические черты (рис. 44). Снаружи она одета клеточной стенкой, которая состоит из целлюлозы.

Наличие плотной клеточной стенки препятствует образованию перетяжки при делении цитоплазмы клетки в телофазе митоза, как это было описано в § 32. Деление цитоплазмы на две части при митозе растительных клеток происходит путем формирования плазматической мембраны и клеточной стенки прямо внутри делящейся клетки — от центра к периферии.

В состав растительных клеток входят особые органеллы — **пластиды**. Они окружены не менее чем двумя мембранами, содержат короткую кольцевую ДНК, рибосомы и способны к самостоятельному

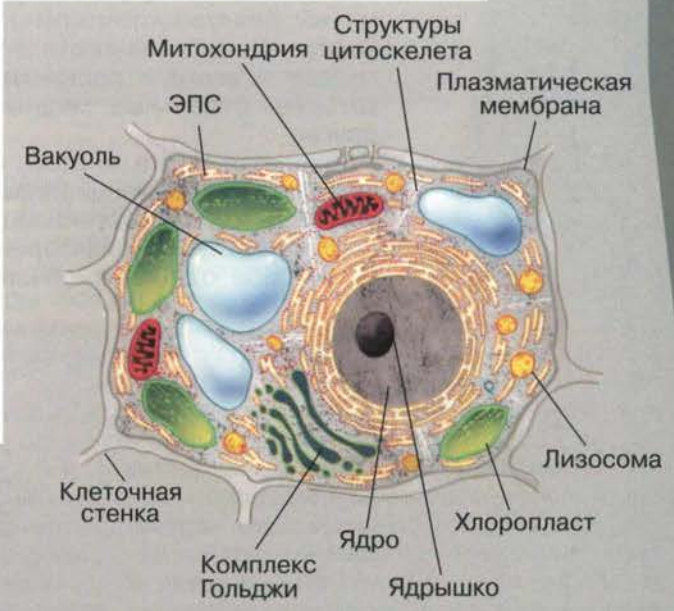


Рис. 44
Строение растительной клетки

Вспомним, что целлюлоза — это полисахарид, молекулы которого образуют тончайшие нити. Связь между соседними клетками у многоклеточных растений осуществляется благодаря тонким тяжам цитоплазмы, пронизывающим неуплотненные участки клеточной стенки.

делению. В функциональном отношении большинство разновидностей пластид так или иначе связаны с энергетикой клетки. В первую очередь это хлоропласты, в которых осуществляются реакции фотосинтеза.

В типичной растительной клетке имеется одна или несколько центральных **вакуолей**, которые при сильном развитии могут вытеснять все остальное содержимое клетки на периферию. Вакуоли окружены мембраной, а их внутреннее содержимое сильно варьирует в клетках разных типов. Это могут быть запасные питательные вещества (сахара, растворимые белки), растворы необходимых клетке солей, аминокислоты и др. В вакуоли же выводятся и 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 черно-фиолетового.

Хлоропласты содержат хлорофилл, каротиноиды и необходимые для фотосинтеза белки. Хромопласты не содержат хлорофилла, но обогащены каротиноидами — желтыми, оранжевыми и красными пигментами, которые определяют окраску цветов, плодов и некоторых корнеплодов (морковь). И наконец, лейкопласты бесцветны. В некоторых из них может синтезироваться и накапливаться крахмал, в других — запасы жира и белка. Лейкопласты при определенных 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 (василек, герань, роза, пион). Кроме того, именно они окрашивают осенние листья в ярко-красный цвет.

Растительная клетка имеет принципиально то же строение, что и животная. Отличительной особенностью растительной клетки является наличие клеточной стенки, пластид и вакуолей.

*В **новый** портфель*

КЛЕТКА КАК ОРГАНИЗМ И КЛЕТКА В СОСТАВЕ ОРГАНИЗМА. Вы уже знаете, что клетка может функционировать как самостоятельный организм или входить в состав многоклеточного организма или колонии. Во всех этих случаях клетки обладают специфическими чертами в своей организации. У одноклеточных эукариот имеются органеллы, которые необходимы им для самостоятельного существования и которые никогда не встречаются у клеток многоклеточных организмов. Это могут быть пигментные глазки, жгутики и реснички, клеточный рот (особый участок цитоплазмы, которым отдельные хищные простейшие захватывают добычу) и многое другое.

Основная черта клеток, формирующих многоклеточный организм, заключается в их специализации. Особенно отчетливо 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 определенное время, а затем погибают. В большинстве тканей имеется некоторый запас способных к делению недифференцированных клеток. Они производят новые клетки, которые, пройдя определенный этап дифференциации, заменяют собой погибшие клетки данной ткани.

Клетки одноклеточных эукариот, помимо обычного набора органелл, обладают рядом специфичных структур, обеспечивающих их существование как самостоятельных организмов. В составе тканей клетки приспособлены к выполнению определенных функций. Эта специализация необратима, и пополнение тканей новыми клетками происходит в результате деления и последующей специализации недифференцированных клеток.

*В **новый** портфель*

СПЕЦИФИКА КЛЕТКИ ПРОКАРИОТ. Бактериальная клетка принципиально отличается 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 бактериальной клетки оказываются совершенно иными (рис. 45).

Прежде всего у бактерий отсутствует не только оформленное ядро, но и все остальные органеллы. Различия обнаруживаются и в строении мембраны, окружающей клетку бактерии. Вещества попадают в бактерию и выводятся из нее только благодаря диффузии.

Надмембранные структуры бактерий формируют вокруг них жесткую клеточную стенку. Она обладает избирательной проницаемостью. Поверх клеточной стенки бактерии формируют еще и слизистую *капсулу*, которая служит дополнительной защитой от неблагоприятных факторов среды, в том числе предохраняет от высыхания. В цитоплазме бактерий отсутствует цитоскелет.

Рис. 45
Строение бактериальной клетки

Некоторые бактерии снабжены жгутиком, который не имеет ничего общего ни по строению, ни по особенностям функционирования с одноименной структурой эукариот.

Наконец, генетический аппарат бактерий, так называемый **нуклеоид**, представлен замкнутой в кольцо молекулой ДНК, которая свободно лежит в цитоплазме. Нуклеоид прикреплен 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.

Клетки прокариот лишены оформленного ядра и клеточных органелл. Снаружи бактерию окружают плотная клеточная стенка и капсула, у некоторых видов имеется жгутик. 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 варьируют в пределах 15—300 нм. В простейшем случае вирус состоит из небольшой молекулы ДНК или РНК, окруженной защитной белковой оболочкой — **капсидом** (рис. 46).

Вирус способен существовать длительное время и при широком диапазоне внешних условий. Однако самостоятельно воспроизводить себя вирусы не могут, поскольку не содержат тех структур и ферментов, которые обеспечивают процессы, связанные с репликацией нуклеиновых кислот и биосинтезом белков. 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.

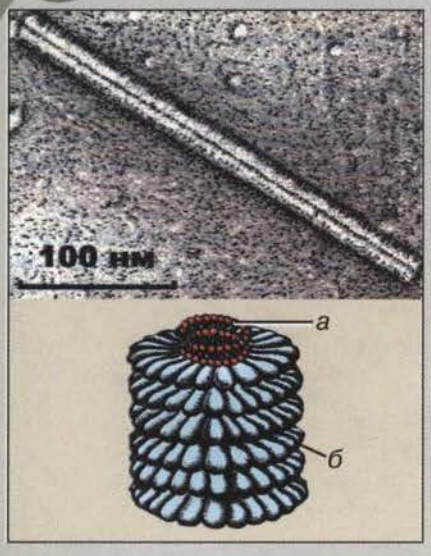


Рис. 46
Строение вируса табачной мозаики: *а* — РНК; *б* — капсид

С нее также считывается информация в виде мРНК, которая поступает на рибосомы, где и осуществляется синтез вирусных белков. В случае РНК-содержащих вирусов вирусная РНК многократно реплицируется и сама играет роль мРНК. По мере наработки белков капсида и нуклеиновых кислот вируса в цитоплазме клетки-хозяина происходит сборка вирусных частиц. Их накопление ведет к гибели клетки-хозяина, она разрывается, и вирусные частицы выходят во внешнюю среду.

Однако последовательность событий, следующих за проникновением вируса в клетку-хозяина, может быть и иной. Оказалось, что при определенных обстоятельствах ДНК вируса не приступает к репликации в цитоплазме клетки-хозяина, а встраивается в ее кольцевую ДНК (у бактерий) или в ДНК хромосом (у эукариот). Такая клетка с вирусной ДНК в геноме способна размножаться, причем 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 вирусов встраиваться в геном клетки имеет целый ряд серьезных 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.

Вирусные ДНК и РНК могут нести **онкогены** — гены, которые при встраивании в геном клетки преобразуют ее в раковую. Кроме того, встраивание генетического материала вируса в ДНК клетки может провоцировать активацию некоторых ее собственных генов (протоонкогены), что также приводит к перерождению клетки и формированию опухоли.

Вирус представляет собой молекулу ДНК или РНК, окруженную 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.

В ***новый*** *портфель*

??

- ▷ Объясните различия в строении растительной и животной клеток.
- ▷ Почему скорость деления бактериальной клетки выше скорости деления клетки эукариот?
- ▶ Какова роль вирусов в биосфере?
- ▶ Почему в процессе эволюции клетки эукариот, а не прокариот заняли господствующее положение и дали начало огромному разнообразию форм жизни?

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.

34 ПОПУЛЯЦИИ И ПРОЦЕССЫ ИХ РЕГУЛЯЦИИ

Урок-лекция

...Каждое единичное органическое существо, можно сказать, напрягает все свои силы, чтобы 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?

Ключевые слова Популяция • Численность • Плотность • Размножение • Плодовитость • Смертность • Экологические факторы

Из старого портфеля Популяция. Типы взаимодействия между популяциями (см. § 28 и Биология, 9 кл.).

ВАЖНЕЙШИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОПУЛЯЦИИ. Популяция — это элементарная единица надорганизменного уровня организации живого, которая, как мы определили в § 28, представляет собой совокупность особей одного вида на определенной территории.

Важнейший параметр популяции — это ее **численность**. Поскольку подсчитать всех особей данной популяции, как правило, невозможно, то для оценки численности в экологии принято оперировать понятием «плотность популяции», т. е. числом особей, приходящихся на единицу площади или объема. Изменения численности популяции в первую очередь связаны с соотношением двух противоположенных 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) выметывают 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 необхо-

Анри Руссо. В тропическом лесу

Природа! Она изменяется вечно, не зная ни единой минуты покоя. Жизнь — прекраснейшая из ее выдумок! Смерть — художественный прием для создания новых жизней.

И. Гёте

Насколько слова Гёте отвечают вашему мироощущению?

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

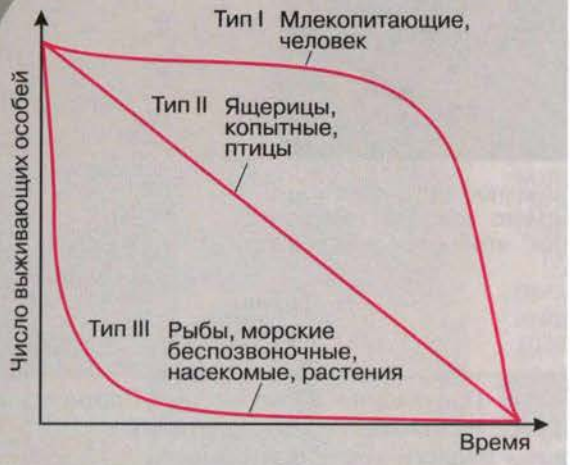


Рис. 47
Типы кривых выживания: I — смертность до определенного возраста низкая, а затем чрезвычайно быстро возрастает; II — смертность относительно постоянна для разных возрастов; III — смертность на ранних стадиях развития очень высокая, а в более поздний период низкая

димым для самостоятельной жизни навыкам.

Какая же стратегия размножения лучше: произвести огромное число малоприспособленных потомков при минимальном вкладе родителей в каждого из них («стратегия трески») либо же, наоборот, вложить все 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 доживает до репродуктивного возраста, т. е. до возраста, когда организм способен к размножению. Во втором же случае гибель единственного потомка приводит к полной потере сезона размножения для родителей и может иметь катастрофические последствия для популяции, если произойдет сразу у многих пар, да еще и несколько лет подряд (например, при крайне неблагоприятных погодных условиях). Неудивительно, что стратегии размножения большинства живых существ располагаются между этими двумя крайностями. Замечательно, 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.

За точку отсчета при их построении берут число новорожденных за тот или иной временной интервал (например, родившиеся в какой-то год), а затем рассчитывают процент особей этой группы, которые доживают до определенного возраста (рис. 47).

Изменения численности популяции зависят от сочетания явлений рождаемости и смертности, которые, в свою очередь, тесно связаны со стратегией размножения, характерной для вида.

В новый портфель

РЕГУЛЯЦИЯ ЧИСЛЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ. Исследуя популяции живых организмов, ученые заметили, что некоторые из них длительное время сохраняют более или менее стабильную численность (рис. 48, *а*), другие же, напротив, испытывают периодические или случайные всплески численности (рис. 48, *б*). С чем это связано?

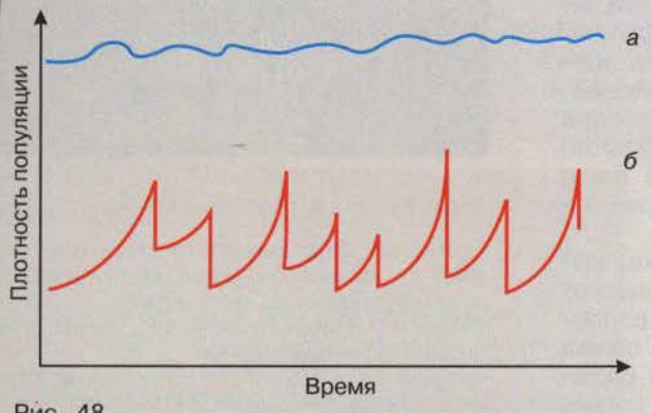


Рис. 48
Варианты изменения численности популяций: стабильная численность (*а*); всплески численности (*б*)

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 (например, численность птиц-дуплогнездовиков в лесу ограничивается числом дупел) и др. А вот зависящие от плотности факторы всегда связаны с взаимодействиями между живыми существами. Это могут быть внутривидовая конкуренция за пищу, убежища, места для гнездования и т. п.; межвидовые взаимоотношения, та-

кие, как воздействие хищников и паразитов, инфекционные заболевания. Действие этих факторов усиливается с увеличением плотности популяции и ограничивает ее рост.

Колебания численности популяции могут быть непериодическими и периодическими. Первые носят непредвиденный характер. Определить вызвавшую их причину не просто, если речь не идет о стихийных бедствиях (ураган, пожар и др.). Периодические колебания могут быть сезонными (см. выше) либо же иметь период в несколько лет. Последнее характерно для популяций многих грызунов (леммингов), полярной совы, песца, атлантического лосося, саранчи и др. Причины таких колебаний обычно связаны с каким-то периодически воздействующим фактором. Например, в Финляндии максимумы численности клеста наблюдаются с периодичностью в три года, что совпадает с урожаем еловых шишек, семенами которых клесты питаются.

Численность популяций живых организмов регулируется экологическими факторами, зависящими или не зависящими от ее плотности. Различное сочетание этих факторов определяет наблюдающиеся в природе колебания численности популяций, которые носят непериодический или периодический характер.

В новый портфель

Что произойдет с популяцией при отсутствии сдерживающих рост ее численности факторов? Легко догадаться, что численность популяции любого вида увеличивалась бы беспредельно, пока не истощила бы все ресурсы окружающей среды.

ВЛИЯНИЕ ЧЕЛОВЕКА НА ДИНАМИКУ ЧИСЛЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИЙ. В настоящее время одним из важнейших экологических факторов (не зависящим от плотности популяции), влияющих на численность популяций живых существ, является деятельность человека. Для любой популяции существует определенная критическая численность; если число особей становится ниже, 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, хотя их численность составляет примерно 5000 экземпляров. Гигантский варан на острове Комодо сохранился в числе около 300 особей, и его численность, несмотря на принимаемые меры охраны, в последние годы не увеличивается. С тех пор как натуралисты начали описывать растения и животных, с лица Земли исчезло 53 вида птиц, 77 видов млекопитающих и множество других живых организмов, в большинстве случаев — по вине человека. Есть о чем задуматься!

ОБРАЗ ЖИЗНИ Увеличение численности городских популяций таких видов животных, как вороны, крысы, мыши, является показателем загрязненности окружающей среды. Содержите город, где вы живете, в чистоте.

??

- ▷ Какие явления лежат в основе изменения численности популяций?
- ▷ Что такое критическая численность популяции?
- ▶ Возможен ли в природе беспредельный рост численности какой-либо популяции? Ответ поясните.

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 вымрет.

В новый портфель

35 ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЭКОСИСТЕМ

Урок-лекция

Природа — это неустанное спряжение глаголов «есть» и «быть поедаемым».

Уильям Индж

? Из каких основных компонентов состоят экосистемы? Что такое трофические цепи и трофические сети? Какова трофическая структура экосистемы?

Ключевые слова Экосистема • Трофические уровни • Трофические цепи • Трофические сети • Пирамиды численности, биомассы и энергии

Из старого портфеля Экосистема (Биология, 9 кл.).

ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ЭКОСИСТЕМЫ. Экосистемы представляют собой элементарную функциональную единицу живой природы, в которой осуществляются взаимодействия между всеми ее компонентами, происходит круговорот веществ и энергии. В состав экосистемы входят неорганические вещества (вода, углекислый газ, соединения азота и др.), которые включаются в круговорот, и органические соединения (белки, углеводы, жиры и др.), связывающие биотическую (живую) и абиотическую (неживую или косную) ее части. Для каждой экосистемы характерна определенная среда (воздушная, водная, наземная), включающая климатический режим и определенный набор параметров физической среды (температура, влажность и т. п.). По роли, которую выполняют организмы в экосистеме, их подразделяют на три группы:

- **продуценты** — автотрофные организмы, главным образом зеленые 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 энергии.

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 мертвые 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 нее растениями, и эти вещества могут вновь утилизироваться продуцентами. Цикл замыкается. Надо заметить, что все

живые существа в определенной 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. В основании трофической цепи находятся продуценты, которые из неорганического вещества и энергии света создают живое вещество — *первичную биомассу*. 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. Приведем пример простой цепи:

трава	→	кролик	→	лисица
продуцент		консумент I порядка		консумент II порядка

А вот пример более сложной цепи:

планктонная водоросль	→	планктонный рачок	→	сельдь	→	треска	→	тюлень	→	белый медведь
продуцент		консумент I порядка		консумент II порядка		консумент III порядка		консумент IV порядка		консумент V порядка

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 мертвым 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. 49).

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 ЭКОСИСТЕМЫ И ЭНЕРГЕТИКА. Зеленые растения улавливают 1—2% попадающей на них энергии Солнца, преобразуя ее в энергию химических связей. Консументы I порядка усваивают около 10% всей энергии, заключенной в съеденных ими растениях. На каждом последующем уровне теряется 10—20% энергии предыдущего. Подобная закономерность находится в полном соответствии со вторым законом термодинамики. Согласно этому закону при любых трансформациях энергии значительная ее 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 и биомассы (количество

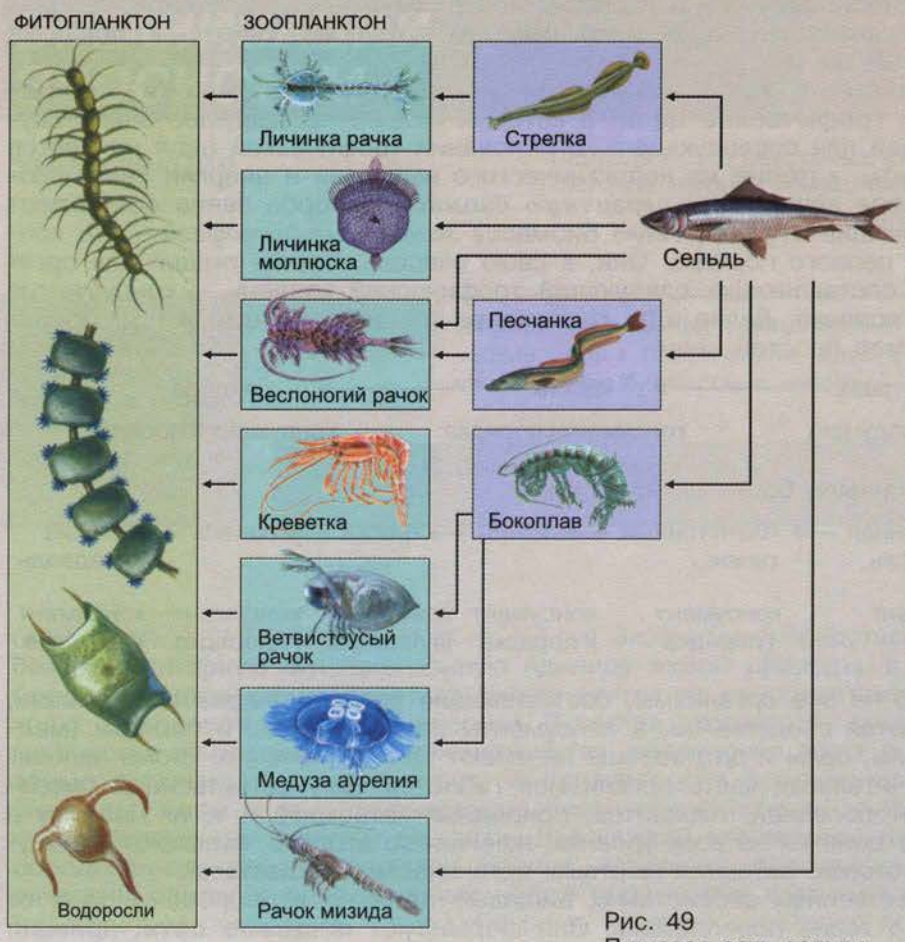


Рис. 49
Пищевая сеть сельди

живого вещества, выраженное в единицах массы или калориях) живых организмов. Однако это правило, как мы увидим ниже, имеет ряд исключений.

В основе устойчивости каждой экосистемы лежит определенная трофическая структура, которая может быть выражена в виде пирамид численности, биомассы и энергии. При их построении значения соответствующего параметра для каждого трофического уровня изображают в виде прямоугольников, поставленных друг на друга.

Форма пирамид численности (рис. 50) в значительной степени зависит от размера организмов на каждом трофическом уровне, особенно продуцентов. Например, численность деревьев в лесу значительно ниже, чем травы на лугу.

Начиная с консументов I 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.

Пирамиды биомассы лучше отражают реальную структуру экосистемы. Если размеры живых существ на разных трофических уровнях не слишком различаются, то можно получить ступенчатую пирамиду (см. рис. 50). Од-

нако в экосистемах с очень мелкими продуцентами (фитопланктон) и крупными консументами общая масса последних будет выше, и мы получим обращенную пирамиду. Такая картина типична для большинства морских и пресноводных экосистем.

Пирамиды энергии дают 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 ее ступенька символизирует количество энергии (в пересчете на единицу площади или объема), прошедшей через определенный трофический уровень за определенный период. Поэтому на форму пирамиды энергии не влияют изменения размеров, численности и биомассы. Она всегда имеет форму треугольника с вершиной, обращенной вверх, что связано с потерей энергии при переходе с одного трофического уровня на другой (см. рис. 50).

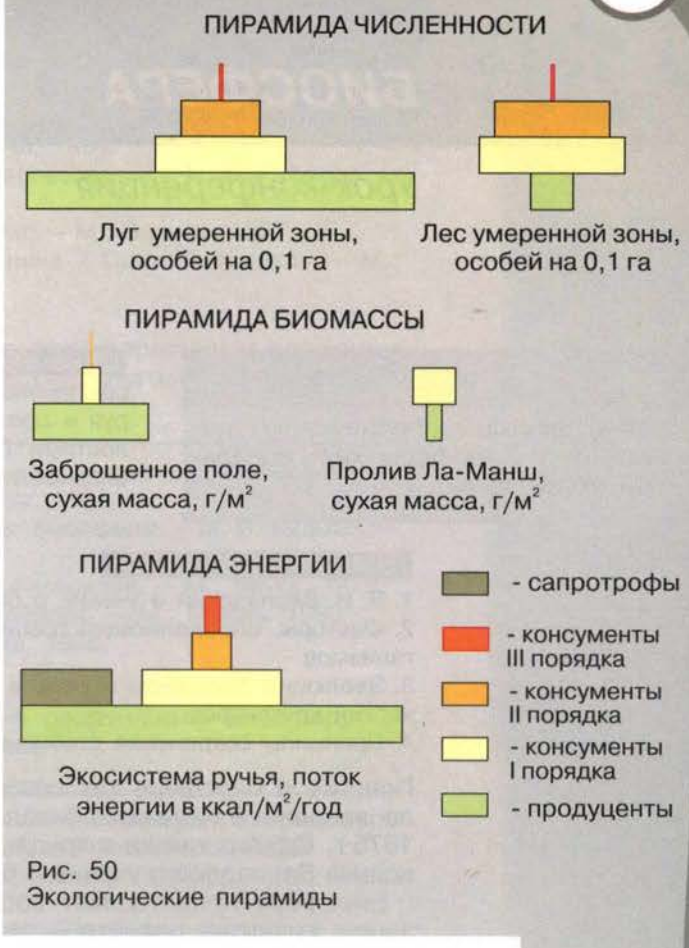


Рис. 50
Экологические пирамиды

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 принесет ей непоправимый ущерб.

??

- Объясните, почему возможно выделить общие компоненты в любой экосистеме.
- Что составляет основу взаимодействия компонентов экосистемы?
- Какое значение для устойчивости экосистемы имеет многообразие ее компонентов?

Трофические связи между организмами формируют основу экосистемы. В любой экосистеме непременно присутствуют первичные производители органического вещества — продуценты, и организмы, это вещество потребляющие и перерабатывающие, — консументы и редуценты. Эти основные компоненты экосистемы формируют трофические цепи и сети, через которые проходит поток вещества и энергии. В соответствии со вторым законом термодинамики на каждом трофическом уровне происходит существенная потеря энергии в виде тепла, что ограничивает длину трофических цепей. Экосистема функционирует как единая, развивающаяся система, обладающая саморегуляцией.

В ***новый*** *портфель*

36 БИОСФЕРА

Урок-конференция

Все 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 косное составляют неразрывное целое, развиваясь и функционируя в соответствии с общими экологическими закономерностями. Понять, в чем 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.

Понятие о биосфере как совокупности живого на поверхности Земли, было введено в научный обиход австрийским геологом Эдуардом Зюссом в 1875 г. Однако только в трудах русского ученого-геохимика Владимира Ивановича Вернадского учение о биосфере приобрело вид стройной концепции.

Биосфера представляет собой высший иерархический уровень организации жизни на планете — это экосистема первого порядка или глобальная экосистема. В ее состав входят все экосистемы Земли, вместе с их биотическими и абиотическими компонентами, потоками вещества и энергии. Стабильное же существование любой экосистемы, как мы уже обсуждали, возможно только в том случае, если все ее компоненты строго сбалансированы. Поэтому для поддержания стабильности глобальной экосистемы необходимо, чтобы в ее 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, экосистема трухлявого дерева в лесу или небольшого озерца в тундре). В этом залог стабильного существования биосферы и человека, который является ее неотъемлемой частью и вне пределов которой жить не может.

СООБЩЕНИЕ 1 Учение В.И. Вернадского о биосфере.

Источники информации

1. Вернадский В. И. Живое вещество и биосфера / В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994.
2. Реймерс Н. Ф. Азбука природы: Микроэнциклопедия биосферы / Н. Ф. Реймерс. — М.: Знание, 1980.
3. Казначеев В. П. Учение В. И. Вернадского о биосфере и ноосфере / В. П. Казначеев. — Новосибирск, 1989.
4. Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера / В. И. Вернадский. — М.: Айрис-пресс, 2003.

СООБЩЕНИЕ 2 Границы биосферы и факторы, их лимитирующие. Причины неравномерного заселения биосферы.

Источники информации

1. Вернадский В. И. Живое вещество и биосфера / В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994.
2. Реймерс Н. Ф. Природопользование / Н. Ф. Реймерс. — М.: Мысль, 1990.
3. Лаппо А. В. Следы былых биосфер / А. В. Лаппо. — М.: Знание, 1987.
4. Биология: Энциклопедический словарь школьника / Сост. П. Кошель. — М.: ОЛМА-пресс, 2001.

СООБЩЕНИЕ 3 Роль живых организмов в формировании и эволюции биосферы. Биогеохимический круговорот веществ в биосфере.

Источники информации

1. Вернадский В. И. Живое вещество и биосфера / В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994.
2. Будыко М. И. Эволюция биосферы / М. И. Будыко. — Л., 1984.
3. Камшилов М. М. Эволюция биосферы / М. М. Камшилов. — М.: Наука, 1979.
3. Реймерс Н. Ф. Природопользование / Н. Ф. Реймерс. — М.: Мысль, 1990.
4. Одум Е. Экология / Е. Одум — М.: Просвещение, 1968.

СООБЩЕНИЕ 4 Факторы, способствующие разрушению биосферы, и условия для ее сохранения.

Источники информации

1. Казначеев В. П. Учение В. И. Вернадского о биосфере и ноосфере / В. П. Казначеев. — Новосибирск, 1989.
2. Фарб П. Популярная экология / П. Фарб. — М.: Мир, 1971.
3. Небел Б. Наука и окружающая среда / Б. Небел. — М.: Мир, 1993.
4. Сытник К. М Биосфера. Экология. Охрана природы / К. М. Сытник, А. В. Брайан, А. В. Городецкий. — Киев, 1987.
5. Самсонов А. Л. Человек и биосфера — проблемы информационных оценок // Вопросы философии. — 2003. — № 6. — С. 111— 127.

ПОДВЕДЕНИЕ ИТОГОВ

Живые существа оказывают преобразующее воздействие на планету, формируя ее особую сферу — биосферу. Между биотической и абиотической частями биосферы происходит постоянный обмен химическими элементами — биогеохимический круговорот. Стабильность биосферы прямо связана со стабильностью составляющих ее экосистем.

37 НАИБОЛЕЕ ОБЩИЕ ЗАКОНЫ ПРИРОДЫ. ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ

Урок-лекция

Закон природы — изменяться,
И потому лишь постоянство странно.
Граф Рочестерский

? В чем смысл закона сохранения энергии? Какие виды энергии существуют? В чем смысл закона сохранения импульса? Что такое момент импульса? Как проявляется закон сохранения момента импульса?

Ключевые слова Энергия • Импульс • Момент 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, оказываются справедливыми для любых объектов, для любых явлений и процессов. К таким законам относятся законы сохранения.

Мориц Эшер. Лист Мёбиуса II

Все в мире цепью связано нетленной,
Все включено в один круговорот...
Л. Кукин

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ. Одним из понятий, играющих важную роль во всех естественных науках, является понятие энергии.

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 ее энергия уменьшается. Если же, наоборот, над системой совершается работа внешними телами, энергия системы увеличивается. **Замкнутой системой** называют систему, не взаимодействующую с каким бы то ни было окружением. 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 окружением. Однако если совершаемая при этом работа мала, то систему приближенно можно рассматривать как замкнутую.

Энергия замкнутой системы сохраняется, т. е. остается неизменной во времени при любых процессах, происходящих внутри системы.

В ***новый*** *портфель*

Энергия может принимать различные виды. В механике различают потенциальную и кинетическую энергии, которые могут переходить друг в друга, например, при движении брошенного камня. Сумму кинетической и потенциальной энергий называют механической энергией. Механическая энергия может приближенно 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). Но источниками тока могут быть гальванические элементы, при действии которых химическая энергия переходит в энергию поля.

Различные виды энергии могут переходить друг в друга при протекании различных процессов.

В ***новый*** *портфель*

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.

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА. Вспомните, что такое импульс и в чем 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, составляющих систему.

Импульс системы изменяется под действием сил. Однако такому изменению способствуют 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 настолько 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 передается импульс. Принцип реактивного движения задолго до появления реактивных двигателей использовали живые организмы. Так, например, каракатица передвигается, выталкивая из себя воду, подобно водометному двигателю, устанавливаемому на катерах.

Для замкнутой системы внешние силы отсутствуют, и, таким образом, импульс замкнутой системы сохраняется, т. е. остается неизменным со временем.

В ***новый*** *портфель*

Как вы знаете, поля тоже могут обладать импульсом и при взаимодействии с веществом приводить его в движение.

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МОМЕНТА ИМПУЛЬСА. **Момент импульса** характеризует инерционность вращательного движения. Простейшим примером вращательного движения является движение планеты по круговой орбите

Рис. 51
Определение момента импульса кометы

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. 51).

Из закона сохранения момента импульса следует, что при приближении кометы к Солнцу (r уменьшается) скорость кометы увеличивается.

Момент импульса системы тел определяется как сумма моментов импульса каждого из тел.

Закон сохранения момента импульса позволяет фигуристу быстро увеличить 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. Причем у элементарных частиц момент импульса, связанный с «вращением вокруг своей оси», который называется спином, всегда кратен значению $h/(4\pi)$. 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.

Момент импульса сохраняется для замкнутой системы или в случае, когда внешние силы, действующие на тела системы, направлены к какому-либо центру.

В ***новый*** *портфель*

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 приближенно. Например, масса вещества до реакции лишь приблизительно равна массе вещества после реакции.

??

- Может ли энергия сохраняться в незамкнутой системе?
- Как, используя закон 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.

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.

В ***новый*** *портфель*

38 ЭНЕРГЕТИКА ЖИВОЙ КЛЕТКИ

Урок-лекция

Преизобильное ращение тучных деревь, которые на бесплодном песку корень свой утвердили, ясно изъявляет, что жирными листами жирный тук из воздуха впитывают...

М. В. Ломоносов

? Как энергия запасается в клетке? Что такое метаболизм? В чем суть процессов гликолиза, брожения и клеточного дыхания? Какие процессы проходят на световой и темновой фазах фотосинтеза? Как связаны процессы энергетического и пластического обмена? Что представляет собой хемосинтез?

Ключевые слова АТФ • Метаболизм • Энергетический обмен • Пластический обмен • Гликолиз • Брожение • Клеточное дыхание • Митохондрия • Фотосинтез • Хемосинтез

Из старого портфеля Молекулярная структура живого. Строение клетки. Жизнедеятельность растений и животных (см. § 30—33 и Биология, 9 кл.).

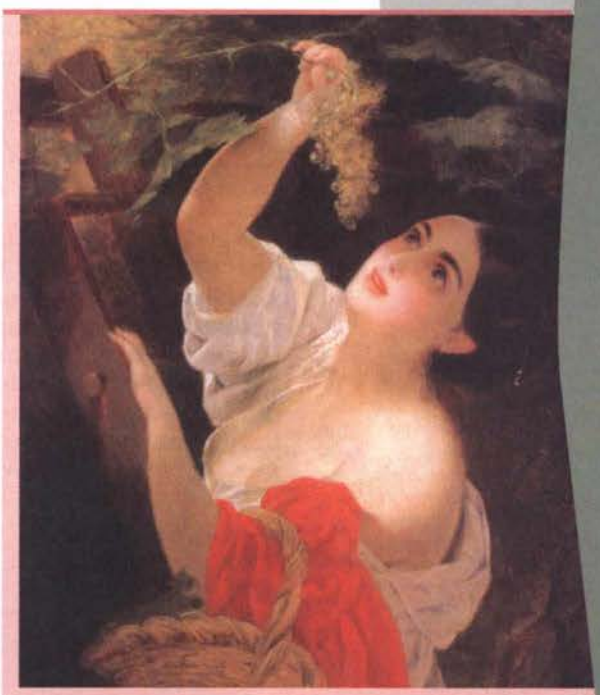
Способность преобразовывать одни виды энергии в другие (энергию излучения в энергию химических связей, химическую энергию в механическую и т. п.) относится к числу фундаментальных свойств живого. Здесь мы подробно рассмотрим, каким образом реализуются эти процессы у живых организмов.

АТФ — ГЛАВНЫЙ ПЕРЕНОСЧИК ЭНЕРГИИ В КЛЕТКЕ. Для осуществления любых проявлений жизнедеятельности клеток необходима энергия. Автотрофные организмы получают исходную энергию от Солнца в ходе реакций фотосинтеза, 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 трех фосфатных групп, остатка сахара (рибозы) и остатка азотистого основания (аденина) (рис. 52).

Связь между фосфатными остатками получила название макроэргической, поскольку при ее 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 40 кДж/моль:

$$АТФ \xrightarrow{+H_2O} АДФ + H_3PO_4 + Энергия$$

Молекулы АТФ играют роль универсальной энергетической разменной монеты клетки. Они поставляются к месту протекания энергоемкого



Карл Брюллов. Итальянский полдень

Ничто не может стыть на старом рубеже.
Нет смерти. Жизнь горит от звездного накала!
Пролился свет луча, глядишь — он мысль уже!
И молния одна, сверкнув, другою стала.

Л. Вышеславский

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

Рис. 52
Молекула АТФ

процесса, будь то ферментативный синтез органических соединений, работа белков — молекулярных моторов или мембранных транспортных белков и др. Обратный синтез молекул АТФ осуществляется путем присоединения фосфатной группы к АДФ с поглощением энергии. Запасание клеткой энергии в виде АТФ осуществляется в ходе реакций **энергетического обмена**. Он тесно связан с **пластическим обменом**, в ходе которого клетка производит необходимые для ее функционирования органические соединения.

ОБМЕН ВЕЩЕСТВ И ЭНЕРГИИ В КЛЕТКЕ (МЕТАБОЛИЗМ). Метаболизм — совокупность всех реакций пластического и энергетического обмена, связанных между собой. В клетках постоянно идет синтез углеводов, жиров, белков, нуклеиновых кислот. Синтез соединений всегда идет с затратой энергии, т. е. при непременном 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 **гликолиз**, 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 четырех молекул АТФ. В итоге энергетический выход гликолиза невелик и составляет две молекулы АТФ:

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_3H_4O_3 + 4H^+ + 2АТФ$$

В анаэробных условиях (при отсутствии кислорода) дальнейшие превращения могут быть связаны с различными типами **брожений**.

Всем известно *молочнокислое брожение* (скисание молока), которое происходит благодаря деятельности молочнокислых грибков и бактерий. По механизму оно сходно с гликолизом, только окончательным 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 **клеточное дыхание**. 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 отщепленные 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, еще две молекулы образуются при гликолизе, и

шесть молекул АТФ — как результат превращений продуктов гликолиза на мембранах митохондрий. Всего в результате окисления одной молекулы глюкозы образуются 38 молекул АТФ:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 38АТФ$$

В митохондриях происходят конечные этапы окисления не только сахаров, но также белков и липидов. Эти вещества используются клетками, главным образом когда подходит к концу запас углеводов. Вначале расходуется жир, при окислении которого выделяется существенно больше энергии, чем из равного объема 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. Основной пигмент фотосинтеза — хлорофилл, который поглощает преимущественно синие и фиолетовые, а также красные лучи спектра. Зеленый свет при этом отражается, поэтому сам хлорофилл и содержащие его части растений кажутся зелеными.

В фотосинтезе выделяют две фазы — **световую** и **темновую** (рис. 53). Собственно улавливание и преобразование лучистой энергии происходит во время световой фазы. При поглощении квантов света хлорофилл переходит в возбужденное состояние и становится донором электронов. Его электроны передаются от одного белкового комплекса к другому по цепи переноса 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. Часть возбужденных светом электронов используется для восстановления НДФ (никотинамидадениндинуклеотидфосфат), или НАДФ·Н.

Под действием солнечного света в хлоропластах происходит также расщепление молекул воды — **фотолиз**; при этом возникают электроны, которые возмещают потери их хлорофиллом; в качестве побочного продукта при этом образуется кислород:

$$2H_2O \xrightarrow{свет} 4H^+ + 4\bar{e} + O_2$$

Таким образом, функциональный смысл световой фазы заключается в синтезе АТФ и НАДФ·Н путем преобразования световой энергии в химическую.

Для реализации темновой фазы фотосинтеза свет не нужен. Суть проходящих

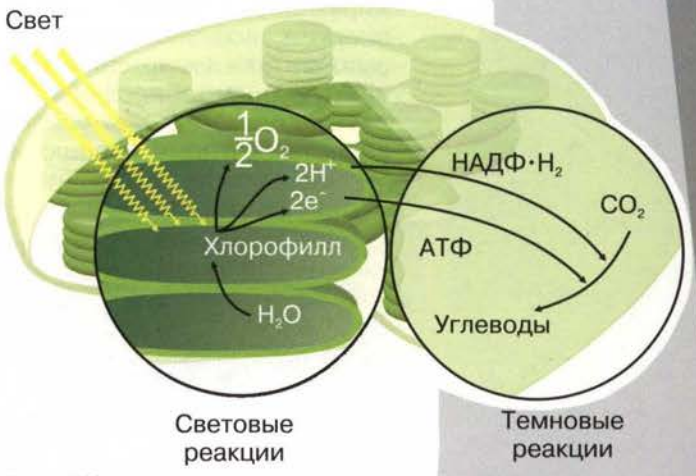


Рис. 53
Продукты реакций световой и темновой фаз фотосинтеза

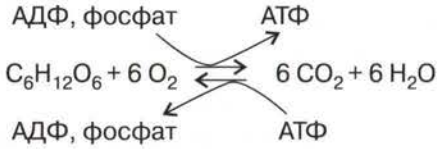
здесь процессов заключается в том, что полученные в световую фазу молекулы АТФ и НАДФ·Н используются в серии химических реакций, «фиксирующих» CO_2 в форме углеводов. Все реакции темновой фазы осуществляются внутри хлоропластов, а освобождающиеся при «фиксации» углекислоты АДФ и НАДФ вновь используются в реакциях световой фазы для синтеза АТФ и НАДФ·Н.

Суммарное уравнение фотосинтеза имеет следующий вид:

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{свет}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

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. Запасенная 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 прочесть 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 этот синтез за счет энергии, выделяющейся при окислении неорганических веществ. Их называют *хемоавтотрофами*. Эти хемосинтезирующие бактерии играют важную роль в биосфере. Например, нитрифицирующие бактерии переводят недоступные для усвоения растениями соли аммония в соли азотной кислоты, которые хорошо ими усваиваются.

Клеточный метаболизм составляют реакции энергетического и пластического обмена. В ходе энергетического обмена происходит образование органических соединений с макроэргическими химическими связями — АТФ. Необходимая для этого энергия поступает от окисления органических соединений в ходе анаэробных (гликолиз, брожение) и аэробных (клеточное дыхание) реакций; от солнечных лучей, энергия которых усваивается на световой фазе (фотосинтез); от окисления неорганических соединений (хемосинтез). Энергия АТФ расходуется на синтез необходимых клетке органических соединений в ходе реакций пластического обмена, к которым относятся и реакции темновой фазы фотосинтеза.

В ***новый*** *портфель*

??

- В чем заключаются различия между пластическим и энергетическим обменом?
- Как преобразуется энергия солнечных лучей в световую фазу фотосинтеза? Какие процессы проходят в темновую фазу фотосинтеза?
- Почему фотосинтез называют процессом отражения планетно-космического взаимодействия?

39 ЕДИНСТВО ПРИРОДЫ. СИММЕТРИЯ

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?

Ключевые слова Трансляционная симметрия • Однородность пространства • Изотропность пространства • Однородность времени • Зеркальная симметрия • Обращение времени • Нарушение симметрии

Из старого портфеля 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.).

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 все-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, как оказывается, вполне научный, на него не так просто ответить.

СИММЕТРИЯ ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ. Для людей, недостаточно знакомых с понятием симметрии, может показаться странным, что наше обычное пространство обладает некой симметрией. Тем не менее оказывается, что эта симметрия весьма «богатая» и из нее вытекают важные следствия.

Трансляционная симметрия пространства заключается в следующем. Поставим некоторый опыт в данной области пространства, а затем проведем 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 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 сделать 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.**

Еще одной симметрией пространства является симметрия пространства по отношению к повороту вокруг любой оси на любой угол. Другими словами, если мы проведем некоторый эксперимент, а затем повернем 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 дает 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 определенный 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.

Все законы сохранения прямо связаны с определенной симметрией. В частности, закон сохранения энергии связан с трансляционной симметрией времени (однородностью времени).

В новый портфель

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.

НАРУШЕННАЯ СИММЕТРИЯ. Вернемся теперь к зеркальной симметрии. Конечно же, наше отражение в зеркале отличается от нас. У нашего «двойника» немного другая прическа, родинка не на правой, а на левой щеке. Еще бóльшая асимметрия во внутренних органах — сердце справа, полушария мозга также переместились справа налево. И все же эта асимметрия носит случайный характер. Можно представить себе человека с зеркально симметричной прической и родинкой. Да и сердце у некоторых индивидуумов, правда в виде исключения, может находиться справа.

Гораздо более важной оказывается асимметрия на молекулярном уровне. Оказывается, у всех организмов двойная спираль молекулы ДНК имеет правую спиральность, т. е. молекула эквивалентна правому (обычному) винту (см. на с. 93 рис. 35). 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 определенного типа симметрии и практически не усваивает соответствующие зеркально симметричные молекулы. Вспомним 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 ее 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 лед. Кристаллики льда имеют выделенные направления, хотя исходные законы, по которым строится кристалл, обладают свойствами изотропии.

Явление нарушения симметрии заключается в том, что, несмотря на симметрию исходных фундаментальных законов, описывающих некоторые объекты, в природе наблюдается асимметрия соответствующих объектов. Подобное нарушение симметрии часто встречается в природе.

В ***новый*** *портфель*

Упомянем еще 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.

??

- Приведите примеры симметричных объектов в природе.
- Какими свойствами симметрии обладает молекула водорода?
- Простейшая из молекул, не обладающих зеркальной симметрией, — молекула перекиси водорода (H—O—O—H). Попробуйте предложить конфигурацию молекулы, если известно, что углы между осью O—O и обеими линиями O—H одинаковы.

40 СИММЕТРИЯ В ИСКУССТВЕ И НАУКЕ

Урок-практикум

Круг и квадрат — вот буквы алфавита, применяемые авторами в качестве основы лучших произведений.

К.-Н. Леду

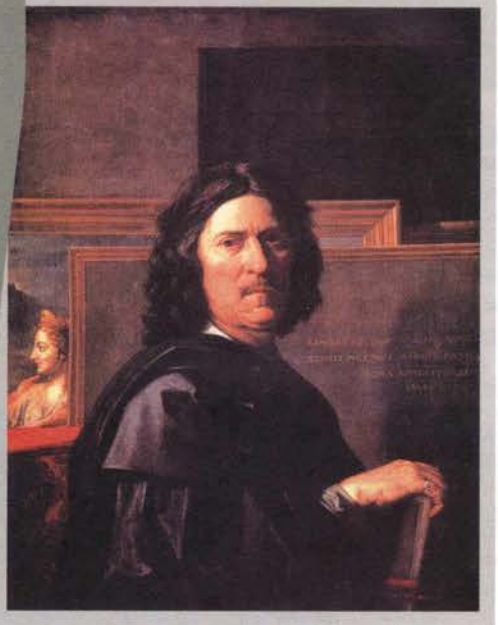
? Как проявляется симметрия в произведениях искусства? Какое значение в искусстве имеет симметрия? Какие научные выводы можно сделать на основе симметрии?

Из старого портфеля Закон всемирного тяготения.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ На конкретных примерах, приведенных в параграфе, сделать выводы относительно роли симметрии в искусстве и науке.

ПЛАН РАБОТЫ Последовательно выполняя задания, сформулируйте 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 путем 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 свое мнение с одноклассниками.



Никола Пуссен. Автопортрет

2. Приведите примеры симметрий в архитектуре. Что, по-вашему, имел в виду архитектор К.-Н. Леду, чье высказывание приведено в эпиграфе?

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 все-таки здесь тоже есть симметрия. Чтобы убедиться в этом, проделайте несложный опыт. Сначала на иллюстрации прикройте изображение медного черпака с длинной ручкой (он

изображен 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.

Жан Шарден. Медный бак

Еще одним примером является сферически симметричный объект, который при поворотах на любой угол относительно любой оси, проходящей через центр симметрии, переходит сам в себя; примером может быть земной шар. Конечно же, земной шар лишь приближенно обладает сферической симметрией, однако в большинстве интересующих исследователей случаев это приближение достаточно хорошее.

Оказывается, что из симметрии объектов можно, не производя каких-либо расчетов, 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.

4. Предположим, что сила притяжения направлена не к центру Земли (рис. 54, *а*). Мысленно поверните Землю вокруг оси, соединяющей центр Земли и точку *A*, на 180°. Объясните, почему при таком повороте вектор силы должен повернуться так, как это указано на рисунке 54, *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.

Рис. 54

Как уже говорилось, симметрия в микромире играет бóльшую роль, чем в макромире и мегамире. Это объясняется несколькими причинами. Первая из них — точная симметрия микроскопических объектов. Если земной шар лишь приближенно сферически симметричен, то свободный (ни с чем не взаимодействующий) атом имеет точную сферическую симметрию. Если макроскопическая гантель приближенно симметрична (вы сами можете попробовать установить, какие преобразования симметрии здесь имеют место), то эквивалентная ей по симметрии молекула водорода обладает точной симметрией.

Во-вторых, в микромире действует дополнительная симметрия, о которой мы уже говорили в § 26. Все одинаковые объекты микромира полностью тождественны.

Зная симметрию объектов, можно вывести множество свойств этих объектов.

В **новый** *портфель*

41 МАТЕРИАЛЬНОЕ ЕДИНСТВО МИРА

Урок-конференция

Ничто во всей Вселенной не существует,
Только их полет. Полет Земли, и звезд полет,
и камня.
И он мои печали прочь несет...

Поль Элюар

? Что такое материя? В чем проявляется материальное единство мира? Можно ли, изучая состав и движение космических тел, восстановить картину эволюции системы? В чем отличие живого от неживого?

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. 4. Отличие живого вещества от неживого.

Материальное единство мира, в котором мы живем, проявляется прежде всего в единстве химического состава объектов Вселенной. Практически все элементы таблицы Менделеева обнаружены в объектах далекого космоса. Например, гелий был открыт в результате спектральных наблюдений Солнца, а затем уже найден и на Земле. Вселенная в раннюю эпоху своей эволюции была водородно-гелиевой. Формирование более тяжелых химических элементов (вплоть до железа) происходит лишь в недрах звезд. Элементы тяжелее железа синтезируются по современным представлениям только при вспышках сверхновых звезд, которые происходят в результате эволюции сверхмассивных звезд. Планетные системы, по-видимому, рождаются вместе с одиночными звездами второго поколения. Возраст нашего Солнца и тел Солнечной системы оценивается в 4,5 млрд лет. Солнце — звезда второго поколения. В состав газопылевого облака, из которого образовались звезды и планеты, уже вошли тяжелые элементы.

Другим свидетельством материального единства мира является подтвержденное наблюдениями единство законов природы, проявляющееся во Вселенной. В частности, единые свойства пространства-времени в наблюдаемом мире сопряжены, согласно 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, 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.

Живое и неживое имеет сходный химический состав. Как уже говорилось в § 39, характерной особенностью молекул, связанных с жизнью, является асимметрия по отношению к зеркальному отражению.

СООБЩЕНИЕ 1 Основные закономерности в Солнечной системе. Движение, строение и химический состав небесных тел. Анализ данных приведенной 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.

Планета	Расстояние от Солнца (а. е.)	Период обращения вокруг Солнца относительно звезд (лет)	Масса (в массах Земли)	Средний экваториальный радиус (в радиусах Земли)	Средняя плотность ($г/см^3$)	Период вращения вокруг оси (земн. сут.)	Температура поверхности (K)	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
Плутон	39,231	245,73	0,0025	0,187	1,1	–6,39	30–60	Ar, Ne, CH_4

Источники информации

1. Гурштейн А. А. Извечные тайны неба / А. А. Гурштейн. — М.: Просвещение, 1991.
2. Дагаев М. М. Книга для чтения по астрономии / М. М. Дагаев. — М.: Просвещение, 1980.

СООБЩЕНИЕ 2

Единство химического состава объектов Вселенной.

Источники информации

1. Хокинг С. От Большого взрыва до черных дыр / С. Хокинг. — М., 1990.
2. Долгов А. Д., Вселенная, жизнь, разум / А. Д. Долгов, Я. Б. Зельдович, И. С. Шкловский. — М., 1987.
3. Вещество и антивещество во Вселенной // Природа. — 1982. — № 8.

СООБЩЕНИЕ 3

Единство физических законов.

Источники информации

1. Чернин А. Д. Физика времени / А. Д. Чернин. — М., 1987.
2. Новиков И. Д. Гравитация черных дыр / И. Д. Новиков. — М., 1986.

СООБЩЕНИЕ 4

Живое и неживое вещества. Хиральность биомолекул.

Источники информации

1. Инас М. О природе живого: механизмы и смысл / М. Инас. — М., 1994.
2. Докинз Р. Эгоистичный ген / Р. Докинз. — М., 1993.

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. Живое и неживое вещества имеют общее и различное в химическом составе и молекулярном строении.

*В **новый** портфель*

Глава 3

ОТ СТРУКТУРЫ К СВОЙСТВАМ

ОБРАЗ И МЫСЛЬ

Мерет Оппенгейм (1913 – 1985)
Покрытая мехом чашка (1936). Музей современного искусства, Нью-Йорк

- Рассмотрите изображение странного объекта. Выскажите версии относительно его предназначения.
- Предположите, как взаимосвязаны структура объекта и его предназначение. Какая функция преобладает в его предназначении — утилитарная или символическая? Поясните свою мысль примерами.
- Как вы считаете, способно ли искусство обогатить ваши представления о взаимосвязи структуры и свойств предметов окружающего мира?

ПРЕАМБУЛА:

Почему окружающие нас вещества обладают столь разными свойствами? Достаточно очевидно, что эти свойства есть следствие соответствующих структур. Каким образом структура объекта влияет на его свойства?

Проблема эта волновала философов и ученых в течение многих веков, и нельзя сказать, что в настоящее время она полностью решена. В этой главе мы расскажем, как на протяжении истории развития естествознания изменялись представления о природе свойств вещества.

Безусловно, огромное разнообразие свойств характерно для живой природы. Многие из свойств организма сохраняются на протяжении всей его жизни и передаются по наследству путем кодирования на молекулярном уровне в молекулах ДНК. О многообразии живой природы и о том, каким образом реализуется генетическая информация, также пойдет речь в данной главе.

42 АТОМЫ И ЭЛЕМЕНТЫ. ДВА РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ГЕНЕЗИСА СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ

Урок-лекция

Нельзя не признать в атомизме возвышенного обобщения...

Д. И. Менделеев

? Как древнегреческая «наука о природе» объясняла свойства тел? В чем отличие атомистического и элементаристского подходов к объяснению явлений природы? Каковы социокультурные предпосылки древнегреческого природознания?

Ключевые слова Атом • Пустота • Элемент • Элементарные качества • Первоматерия

Из старого портфеля Атомы и молекулы. Химический элемент как вид атомов (Химия, 8 кл.).

ПРОБЛЕМА ПАРМЕНИДА. Мысль о том, что все вещества состоят из мельчайших частиц — атомов, красной нитью проходит через всю историю естествознания. Зарождение атомистических представлений можно проследить в нескольких регионах мира, в частности в некоторых философских учениях Древней Индии (школы ньяйя и вайшешика) III—I вв. до н. э. Но именно древнегреческая атомистика сыграла наиболее важную роль в истории естествознания. 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 развитии 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 (около 540—450 гг. до н. э.). Окружающий человека мир изменчив и многообразен. Но за этой многокачественностью, подвижностью, изменчивостью мира скрываются некие неизменные первоначала. Например, существует множество органических соединений, но при всем разнообразии их свойств и составов между ними есть общее: все они в определенных условиях способны вступать в те или иные химические реакции, причем эта способность зависит от состава и строения вещества, от растворителя,

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, неизменного и не уничтожающегося 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 все сущее построено из двух начал:

— начала неуничтожимого, неизменного, вещественного и оформленного

и

— начала разрушения, изменчивости, невещественного и бесформенного.

Первое было названо **атомом**, второе — пустотой, т. е. ничем не наполненной протяженностью.

Такой путь решения проблемы Парменида был предложен Левкиппом (V в. до н. э.) и Демокритом (около 460—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, причем — и это очень важно — сами атомы лишены каких-либо качеств.

«Причинами всех вещей являются определенные различия в атомах... — писал Аристотель, пересказывая идеи Демокрита, — а различий этих три: форма («схема»), порядок (величина, «таксис») и положение («тезис»)».

Таким образом, на место качественной определенности атома атомисты поставили его количественную определенность. В этом заключалась колоссальная объяснительная сила атомистики.

ЭЛЕМЕНТЫ МИРА. Второй ответ на вопрос Парменида был предложен Эмпедоклом (около 490—430 гг. до н. э.). Разумеется, не следует думать, будто Эмпедокл специально размышлял именно над этим вопросом, как, впрочем, и Демокрит. Речь идет о логической связи идей.

Космос Эмпедокла образован четырьмя **элементами** (другое название — **стихиями**): огнем, воздухом, землей, 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 четырем 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 отразила качественные изменения в мире. Его не удовлетворяла атомистика Демокрита, так как физический объект, наделенный определенными качествами, не может, по Аристотелю, быть построен из бескачественных объектов — атомов. Аристотель вообще был противником крайностей чисто умозрительных рассуждений. Ему были ближе взгляды «физиков» — Анаксагора 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** (т. е. несводимых друг к другу) **качеств**:

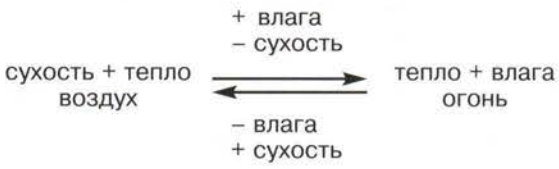
теплое — холодное (активная пара);
сухое — влажное (пассивная пара).

На основе этих элементарных качеств (ЭК) Аристотель построил свой вариант учения об элементах. Простота Эмпедокловой четверки элементов, по мнению Аристотеля, лишь кажущаяся, ибо элементы составлены из ЭК:

огонь = сухость + тепло; воздух = тепло + влага;
вода = влага + холод; земля = холод + сухость.

Элемент Аристотеля — это сочетание двух ЭК, наложенных на **первоматерию**, которая впитывает в себя эти качества, как губка, но сама по себе лишена всякой качественной определенности. В идеальном элементе оба ЭК присутствуют симметрично (поровну), но в реальных элементах симметрия состава нарушена, в огне имеется избыток тепла, во льду — холода и т. п. Пропорции ЭК могут варьироваться широко и непрерывно, что способствует качественному многообразию мира.

Элементы, по Аристотелю, взаимопревращаемы, например:



ЭСТЕТИЧЕСКИЙ ОБРАЗ МИРА. Наука, в понимании Аристотеля, должна изучать весь мир, от червя до небесных светил, причем 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 нем порядок и гармонию, упорядочить явления мира, создать эстетически значимый образ (эйдос) бытия.

В этом плане научная программа Аристотеля гармонично соотносится с культурой его времени, в частности с литературными тенденциями его эпохи. Так, новоаттическая комедия — это комедия характеров (Менандр)[1], а центр тяжести в драматургии вообще смещается в это время от судьбы к характеру. Ученик и преемник Аристотеля Феофраст в своих «Характерах» дает типологию нравов, подобно тому как его учитель создал 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 создается представление о человеческих переживаниях.

Создание атомистики и учения об элементах свидетельствует о высоком развитии и гибкости абстрактного мышления греков. Полемика между атомистами и сторонниками учения об элементах на долгие столетия, до начала XIX в., определила противостояние двух подходов к проблеме генезиса (происхождения) свойств веществ.

В ***новый*** *портфель*

[1] Менáндр (342–292 гг. до н. э.) — древнегреческий драматург.

??

- ▷ Пользуясь справочной литературой, выясните этимологию 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?
- ▶ Чем атомистика Эпикура отличалась от атомистических представлений его предшественников?

43 ВТОРОЕ РОЖДЕНИЕ АТОМИСТИКИ

Урок-лекция

Пытливый дух апостола Фомы,
. . . . . .
Он перенес все догмы богословья
На ипостаси сил и вещества.

М. Волошин

?

Почему в XVI–XVII вв. атомистические представления получают широкое распространение? В чем отличие корпускулярной теории Р. Бойля от предшествующих теорий генезиса свойств веществ? Что нового внес в «корпускулярную философию» И. Ньютон?

Ключевые слова Корпускула • Корпускулярные теории • Межчастичные силы

Из старого портфеля Атомы и молекулы. Химический элемент как вид атомов (Химия, 8 кл.).

КОРПУСКУЛЯРНЫЕ ТЕОРИИ. В XVI—XVII столетиях в Западной Европе усиливается интерес к атомистическим представлениям Античности. Кроме того, многие ученые XVII в. разрабатывали собственные атомистические, или, как их тогда чаще называли, **корпускулярные, теории**. Наибольшую известность среди них получили теории английских ученых 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» (по-латыни prima naturalia);

— эти частицы столь малы, что их невозможно увидеть;

— первичные частицы отличаются друг от друга 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 — схоластического — способа объяснения свойств тел. Например, если тело горючее (дерево, бумага, сера), то, по мнению схоластов, это вызвано наличием в нем особой тонкой материи, которая и придает телу свойство горючести. Если тело окрашено, значит, в нем имеется особая тонкая материя, которая служит причиной окраски. Таким образом, на вопрос: «Почему сера имеет желтую 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 ученых и даже высмеивались в европейской художественной и философской литературе, причем задолго до XVII в.

Французский писатель Франсуа Рабле (1494–1553), высмеивая схоластическую ученость, 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 вопросил Платона:
«Скажи, учитель, имя Эликсира?»
«Титан — вот вещество и корень мира».
«Что есть Титан?» — «Магнезия иначе».
«Учитель, но ведь ты же обозначил
Ignotum per ignotius[1]?» — «Ну да».
«Но суть ее?» — «То некая вода,
Слиянье элементов четырех».
«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».

По мнению Бойля, в телах «нет ничего реального и физического», кроме величины, формы и движения составляющих их корпускул (корпускулярных кластеров).

Значительную роль в переходе на новые, корпускуляристские 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 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 заключен источник ее 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 счете можно будет вообще 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 форму, размеры и структуру корпускулярных кластеров. Поэтому корпускулярные теории оставались скорее программой на будущее, неким манящим, но недостижимым для того времени идеалом изучения и объяснения свойств веществ. Однако из этого вовсе не следует, что они были совершенно бесполезными. Корпускулярная теория покончила с распространенной практикой объяснять свойства через свойства («тело желтое, потому что в нем 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 наука обогатилась новыми фактами и теориями, сама идея объяснения свойств исходя из микроструктуры вещества не только сохранилась, но и обрела конкретное выражение.

---

[1] Т. е. объяснил одно неизвестное через другое, тоже неизвестное.

Вспомним, к примеру, как объясняет современная наука химические свойства фтора (его высокую реакционную способность). Три фактора определяют «химическую индивидуальность» этого элемента: высокий потенциал ионизации, обусловленный в значительной мере небольшим размером атома фтора; большое сродство к электрону, обусловленное тем, что в небольшом атоме фтора велико межэлектронное отталкивание; небольшая энергия разрыва химической связи в молекуле F_2.

Идеи Бойля о строении вещества оказали большое влияние на И. 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 подчеркивал важную роль массы первичных частиц материи. Эта идея нашла свое новое выражение более века спустя в работах английского ученого Д. Дальтона, который создал атомистическую теорию нового типа.

В XVI в. и особенно в XVII в. получили распространение корпускулярные теории вещества. Наиболее важную роль сыграли корпускулярные учения Р. Бойля и И. Ньютона. Главные причины появления подобных теорий были связаны с неудовлетворительностью традиционных объяснений свойств тел.

*В **новый** портфель*

??

▷ Пользуясь справочной литературой, выясните этимологию слов «корпускула», «кластер».

▷ Совместима ли «корпускулярная философия» Р. Бойля с алхимической доктриной «трансмутации» (т. е. превращения) «неблагородных» металлов (например, свинца) в «благородные» (серебро, золото)?

▷ Английский поэт Джон Донн (1572—1631) писал в одном из своих произведений:

И в сфере звезд, и в облике планет
На атомы Вселенная крошится,
Все связи рвутся, все в куски дробится,
Основы расшатались, и сейчас
Все стало относительно для нас.

Какие черты мироощущения человека начала Нового времени отразились в этих строках?

▷ Согласны ли вы с мыслью М. Волошина, которую он выразил в строках, приведенных в эпиграфе к этому параграфу? Какое влияние могла, по вашему мнению, оказать религия на формирование естествознания в семнадцатом столетии?

▶ Когда европейские миссионеры познакомили китайских мудрецов с достижениями европейской науки (когда 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 все 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

? В чем суть химической революции XVIII в.? Как повлияла химическая революция на понимание генезиса свойств веществ?

Ключевые слова Флогистон • Горение • Прокаливание • Кислород • Агрегатное состояние вещества • Агрегатные переходы

Из старого портфеля Свойства простых веществ (металлов и неметаллов), оксидов, оснований, кислот, солей (Химия, 8—9 кл.). Строение вещества. Тепловое движение атомов и молекул. Работа и теплопередача как способы изменения внутренней энергии тела (Физика, 8 кл.).

Луи Давид. Портрет А. Л. Лавуазье с женой

Антуан Лоран Лавуазье (1743—1794) — французский химик и физик. Создал кислородную теорию горения и прокаливания

ТЕОРИЯ ЛАВУАЗЬЕ. «Великая французская революция в химии» — так часто называют научный переворот, совершенный французским ученым А. Лавуазье в 70-х гг. XVIII столетия. В чем же суть этой революции?

Прежде всего следует сказать о том, что эта революция имела не только химическую, но и физическую грань. Собственно, с физики-то все и началось.

В мае 1766 г. Лавуазье познакомился со статьей одного немецкого химика, в которой говорилось, что «упругость» воздуха, т. е. его способность сопротивляться сжатию, обусловлена тем, что воздушные частицы окружены особой огненной материей. В результате частицы отталкиваются друг от друга. Чтение этой статьи навело Лавуазье на мысль о том, что, возможно, при переходе жидкости в пар (например, при испарении воды) жидкость поглощает огненную материю (флогистон, как ее еще тогда называли) и переходит в «расширенное», т. е. газообразное, состояние. В апреле 1773 г. Лавуазье обобщил эту идею: переход вещества из твердого состояния в жидкое обусловлен присоединением флогистона, так же как и переход жидкости в пар. Если же от тела отнимать флогистон, скажем, путем охлаждения, то процессы идут в обратном порядке: газ сжижается, а жидкость, теряя флогистон, превращается в твердое тело:

$$\text{твердое тело} \underset{-ф}{\overset{+ф}{\rightleftharpoons}} \text{жидкость} \underset{-ф}{\overset{+ф}{\rightleftharpoons}} \text{газ},$$

где ф — флогистон.

При этом допускалось, что воздух (газ) состоит из весомого «основания» и легкого, почти невесомого флогистона.

Это была очень важная гипотеза, хотя доказать ее было практически невозможно. Если ранее считалось, что, к примеру, лед, вода и водяной пар — это разные по своей природе тела, то согласно Лавуазье это разные **агрегатные состояния** одного и того же вещества, отличающиеся количеством поглощенного флогистона.

Но теория флогистона, детально разработанная на рубеже XVII—XVIII вв. немецким химиком и врачом Георгом Шталем, имела также свою химическую грань. Считалось, что при горении веществ и прокаливании металлов выделяется флогистон и образуется негорючий остаток, т. е. флогистон, по теории Шталя, — тонкая материя, присутствие которой в теле придает этому телу свойство горючести. Кроме того, считалось, что наличие флогистона приводит к появлению и других свойств, например окраски. Шталь создал стройную флогистонную теорию, которая, 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, как говорили в XVIII в.) подействовать каким-либо веществом, богатым флогистоном, например углем, то можно вновь получить металл, поскольку флогистон от угля переходит к окалине и придает ей новые свойства (горючесть, характерный металлический блеск и т. д.).

Однако ко второй половине XVIII в. стали появляться факты и гипотезы, ставившие теорию флогистона под вопрос. Было выяснено, что при прокаливании металлов на воздухе последний отнюдь не является пассивной средой. Наоборот, прокаливаемый металл поглощает воздух, в результате чего вес окалины оказывается больше веса взятого 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.

Соединив этот вывод со своими представлениями о переходе тел из одного агрегатного состояния в другое, Лавуазье пришел к теории (модели) горения и прокаливания, которую схематично можно представить так:

$$\underset{\text{горючее тело (или металл)}}{S} + \underset{\text{свободный воздух}}{[\text{«основание воздуха»} + \text{ф}]} \longrightarrow \underset{\text{кислотный продукт горения (или металлическая окалина)}}{[S + \text{«основание воздуха«}] + \text{ф}}$$

Как видим, хотя Лавуазье 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 Шталя, а сам воздух.

В ходе дальнейших исследований Лавуазье пришел к другому важному выводу: в процессах горения и прокаливания 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 еще многое оставалось неясным, в частности почему одни «виды воздуха» (т. е. одни газы) отличаются по своим свойствам от других. Очень важным для Лавуазье стали опыты по разложению ртутной окалины (т. е. оксида ртути HgO), которые до него проводил английский ученый Джозеф Пристли.

Пристли обнаружил, что при разложении ртутной окалины образуется «воздух», не растворяющийся в воде, в котором «свеча горит удивительно сильным пламенем». В октябре 1774 г. он посетил Париж, беседовал там с Лавуазье и рассказал ему о своих опытах с ртутной окалиной. Лавуазье весной 1775 г. также начал эксперименты с этим веществом. Он разлагал ртутную окалину в присутствии угля (мощного источника флогистона) и без него, простым нагреванием или в фокусе большого зажигательного зеркала. Лавуазье был поражен тем, что хотя и в том и в 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, так называемый «связанный воздух» (современный CO_2), должен был содержать больше флогистона, чем газ, полученный при прокаливании без угля, и, следовательно, хуже растворяться в воде (ведь флогистон, напоминаем, 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 Лавуазье наконец удалось распутать клубок загадок и противоречий. Он пришел к следующим выводам:

— из ртутной окалины при ее нагревании без угля выделяется новый газ, тот самый, который поддерживает горение и дыхание и который был затем назван кислородом (в современной записи $2HgO \rightarrow 2Hg + O_2$);

— «связанный воздух», получающийся при нагревании ртутной окалины, смешанной с углем, представляет собой соединение кислорода с материей угля (современная формула: CO_2 — углекислый газ; $2HgO + C \rightarrow 2Hg + CO_2$);

— чем больше кислорода содержится в теле, тем ярче проявляются в нем кислотные свойства;

— в состав атмосферного воздуха, кроме кислорода, входит еще и «удушающая часть воздуха», т. е. азот.

В итоге процессы горения и прокаливания стали пониматься Лавуазье так, как показано на следующей схеме:

$$S + \underset{\text{газообразный («свободный») кислород}}{[\text{«основание кислорода»} + \text{ф}]} \rightleftharpoons \underset{\text{кислотный продукт горения (или металлическая окалина)}}{[S + \text{«основание кислорода»}]} + \text{ф}$$

Как видим, и в своем окончательном виде теория Лавуазье использует понятие флогистона. Французский ученый 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 флогистоном связывали тепловые явления, агрегатные переходы и т. д., а потому Лавуазье предложил для него новое имя — теплород (calorique).

??

- ▷ Пользуясь справочной литературой, выясните этимологию слов «флогистон», «азот».
- ▶ Для объяснения каких фактов Шталь создал теорию флогистона? На какой вопрос (или вопросы) должна была ответить эта теория?
- ▶ Можно ли считать теорию флогистона, ложность которой в итоге была показана данными физики и химии, ненаучной?
- ▶ Познакомьтесь с биографией Лавуазье. Как вы думаете, правы ли были судьи революционного трибунала, вынося Лавуазье смертный приговор?

Лавуазье пришел к выводу, что свойства вещества зависят от очень многих факторов, и прежде всего от того, из каких компонентов (элементарных тел) вещество состоит и в каких пропорциях они соединены.

*В **новый** портфель*

45 «НОВАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКОЙ ФИЛОСОФИИ» Д. ДАЛЬТОНА

Урок-лекция

В основании каждой теории в естествознании всегда лежит нечто такое, что не может быть подтверждено экспериментально.

И. Я. Берцелиус

? Чем отличается атомная теория Д. Дальтона от предшествующих ей вариантов атомистики? Какое влияние на последующее развитие естествознания оказали работы Дальтона? Что нового внесла атомистика Дальтона в понимание генезиса свойств веществ?

Ключевые слова Атом • Элемент • Относительная атомная масса • Атомный состав тел

Из старого портфеля 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 (Химия, 8—9 кл.).

УЧЕНИЕ О СОСТАВЕ ВЕЩЕСТВ. Исторически так сложилось, что учение об элементах и атомистические представления до начала XIX в. 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 величиной, формой, движением, с присущими им силами).

Мысль Лавуазье о существовании в природе конечного числа элементов, обладающих определенной 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, 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 величина атомов на эту роль не подходили хотя бы потому, что их невозможно было определить экспериментально. В качестве подходящего свойства атома Д. Дальтон выбрал относительный атомный вес (в настоящее время используют термин **относительная атомная масса,** или просто «атомная масса»).

Джон Дальтон (1766—1844) — английский физик и химик. Работал в области метеорологии и физики газов, описал дефект зрения, известный как дальтонизм.

ТЕОРИЯ ДАЛЬТОНА. Все началось с метеорологии, которой Дальтон занимался всю свою сознательную жизнь, сделав около 200 000 записей о состоянии погоды. В процессе метеорологических наблюдений он заинтересовался свойствами

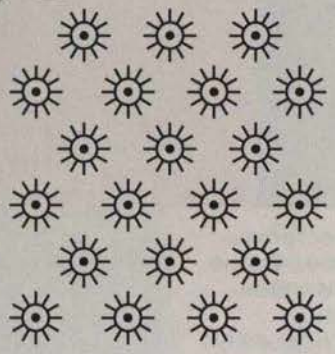


Рис. 55
Модель газа по Дальтону

газов и газовых смесей, причем, обсуждая те или иные вопросы физики газов, он использовал атомистические теории, весьма распространенные в Англии еще с XVII в. В итоге к 1801 г. у него сложились следующие представления о природе газообразного состояния:

— атомы газов окружены теплородной оболочкой, объем которой увеличивается с ростом температуры;

— между частицами газов действуют силы отталкивания, обусловленные отталкиванием теплородных оболочек, и силы притяжения («химического сродства»);

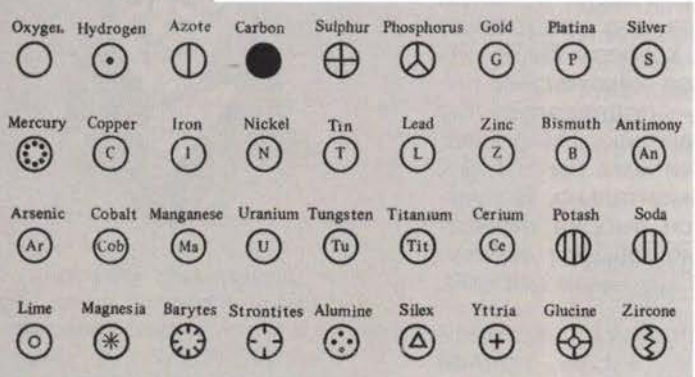
— частицы газа располагаются в пространстве настолько плотно, что теплородные оболочки касаются друг друга (рис. 55).

Для ответа на целый ряд важных вопросов (почему происходит диффузия газов; почему атмосфера не расслаивается, т. е. почему тяжелые 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 другие проблемы. Наиболее быстрым способом определения кислорода в газовой смеси, по мнению Дальтона, могла служить так называемая проба Пристли, т. е. реакции, которые в современной записи имеют вид:

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2 \text{ или в присутствии воды:}$$
$$2NO + O_2 + H_2O \rightarrow HNO_2 + HNO_3$$

В итоге Дальтон пришел 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 атомные составы соединений — сколько атомов каждого элемента входит в молекулу («сложный атом», по терминологии Дальтона) данного соединения, а для того чтобы определить атомный состав соединения, надо знать его элементный состав (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 путем», «не следует увеличивать сложности без необходимости» и т. п.



Химические символы Д. Дальтона. 1810

Согласно этому правилу, если два элемента образуют только одно соединение (как, например, водород и кислород дают только воду; пероксид водорода тогда еще не был открыт), то состав его будет простейшим: AB, т. е. вода в таком случае должна иметь состав HO, аммиак NH и т. д. Как видим, Дальтон не «угадал» состава воды и аммиака, и потому численно его шкала относительных атомных масс оказалась неверной.

Но несовершенства теории Дальтона не умаляют сделанного им прорыва.

Дальтон исходил в своих рассуждениях из того, что элемент — это атомы одного вида, с определенными атомными весами, а каждый атом — это атом определенного химического элемента. Иными словами, атомы различных химических элементов неодинаковы по своим свойствам и по их 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 генезиса свойств веществ можно и должно связывать с атомным составом тел.

Атомистические представления и представления об элементах, проделав долгую историческую эволюцию, объединились наконец в одно фундаментальное учение.

В ***новый*** *портфель*

??

- ▷ В своих расчетах 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 принципа простоты Дальтона полученные им значения относительных масс азота и кислорода (атомную массу водорода Дальтон принимал за 1).
- ▶ 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 экспериментально определенный процентный составы этого оксида и используя свою шкалу относительных атомных масс (см. предыдущую задачу), Дальтон предложил новую формулу селитряной кислоты. Какую? Ответ обоснуйте расчетом.
- ▶ Как с позиций атомной теории Дальтона можно интерпретировать закон постоянства состава?
- ▶ Почему свое двухтомное сочинение, вышедшее в 1808–1810 гг., Дальтон назвал «Новая система химической философии»?
- ▶ Какие положения атомной теории Дальтона вызывали, по вашему мнению, наибольшие возражения у его современников?

46 ГЕНЕЗИС СВОЙСТВ 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 чем 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 (Химия, 8 кл.).

ЦЕЛЬ СЕМИНАРА Понять, как утверждение атомно-молекулярного учения повлияло на понимание генезиса свойств веществ.

ПЛАН СЕМИНАРА

1. Основные положения классической атомно-молекулярной теории.
2. Закон Авогадро.
3. Свойства химических соединений в свете классической атомно-молекулярной теории.

Фонтан «Правосудие». Франкфурт-на-Майне

Символом чего в науке являются весы?

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

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. — С. 55–68.
2. Энциклопедический словарь юного химика / сост. В. А. Крицман, В. В. Станцо. — 2-е изд., испр. — М.: Педагогика, 1990. — С. 32–36.
3. Становление химии как науки: всеобщая история химии / под ред. Ю. И. Соловьева. — М.: Наука, 1983. — С. 298–309.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 1 Сформулируйте основные положения атомно-молекулярного учения. Обсудите, чем это учение принципиально отличается от атомной теории Дальтона.

Найдите необходимые сведения о классической атомно-молекулярной теории в указанной выше литературе. Обсудите связь этой теории с представлениями об атомах Д. Дальтона. В чем различия между ними?

Чтобы вам легче было ответить на этот вопрос, решите сначала простую задачу: определите формулу углеводорода, содержащего 85,71% углерода и 14,29% водорода.

Решив эту задачу, вы найдете, что формула углеводорода CH_2. Но это так называемая простейшая формула. Приведенному элементному составу удовлетворяют все углеводороды с формулой C_nH_{2n}(n = 2, 3, 4, 5...).

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 2

Какую роль в формировании атомно-молекулярной теории сыграла гипотеза Авогадро?

Для начала обратимся к следующей задаче: 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 девятнадцатого столетия чаще именовали гипотезой. И многим исследователям гипотеза эта представлялась весьма спорной. Свою гипотезу итальянский химик А. Авогадро сформулировал в 1811 г. Однако понадобилось почти 50 лет, чтобы научное сообщество ее 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 NH_4Cl, CuO, $Cu(OH)_2$.

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 чем состояло значение атомно-молекулярной теории для поисков решения проблемы генезиса свойств веществ? Как следует понимать приведенные 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, $t_{кип} = -196$ °С, $t_{пл} = -210$ °С, энергия химической связи 940 кДж/моль». Какие из этих характеристик относятся к свойствам молекулы азота, а какие — к свойствам простого вещества?

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.

ПОДВЕДЕНИЕ ИТОГОВ

Классическое атомно-молекулярное учение, принятое на I Международном конгрессе химиков в г. Карлсруэ (Германия) в сентябре 1860 г., позволяло определять истинные химические формулы многих веществ (тех, которые могли без изменения своего состава переходить в газообразное состояние). Кроме того, это учение способствовало установлению правильной шкалы относительных атомных масс элементов. Поэтому все теории, описывающие зависимость молекул от их состава и строения (независимо от того, что понималось под термином «строение»), могли опираться на твердую основу — на знание истинной формулы изучаемого вещества, хотя, конечно, это знание — необходимое, но далеко не достаточное условие для объяснения его свойств.

47 ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА

Урок-конференция

...Людскому уму мало частностей: необходимы систематические обобщения... Если нет развития всех или хоть общей части этих обобщений, знание еще не наука, не сила, а рабство перед изучаемым.

Д. И. Менделеев

?

Какую роль классификации и типологии 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.

Многие естественные науки, например биология, изучают объекты, наделенные совокупностью неповторимых индивидуальных свойств и особенностей, иными словами, уникальные объекты. Однако наука не может иметь дело только с единичными, уникальными объектами. Ученые предпочитают иметь дело 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.

Для чего используют классификации в естественных науках? Как различные естественные науки (физика, астрономия, химия, биология) ставят и решают классификационные проблемы? В чем состоят трудности классификации биологических объектов и как они преодолеваются? Как связана проблема классификации объектов с проблемой определения их структуры?

СООБЩЕНИЕ 1 Функции классификаций в науке (классификации естественные и искусственные; классификации и типологии).

Источники информации

1. Философский словарь / под ред. И. Т. Фролова. — 7-е изд. — М., 2001. — С. 247.
2. Любищев А. А. Значение и будущее систематики // Природа. — 1971. — № 2.

СООБЩЕНИЕ 2 Предпосылки открытия Периодического закона: разработка атомно-молекулярного учения; создание теории валентности; открытие химических элементов в XVIII—XIX вв. и накопление сведений об элементах; доменделеевские попытки систематизации химических элементов.

Источники информации

1. Соловьев Ю. И. История химии: развитие химии с древнейших времен до конца XIX в. / Ю. И. Соловьев. — 2-е изд. — М.: Наука, 1983.
2. Фигуровский Н. А. Очерк общей истории химии: развитие классической химии в XIX столетии / Н. А. Фигуровский. — М.: Наука, 1979.
3. Трифонов Д. Н. Как были открыты химические элементы: пособие для учащихся / Д. Н. Трифонов, В. Д. Трифонов. — М., 1980.
4. Фигуровский Н. А. Открытие химических элементов и происхождение их названий / Н. А. Фигуровский. — М., 1970.
5. Становление химии как науки: всеобщая история химии / под ред. Ю. И. Соловьева. — М.: Наука, 1983. — Гл. 5.
6. Химия: Энциклопедия химических элементов / под ред. А. М. Смолеговский. — М.: Дрофа, 2000.
7. Благутина В. Сверххимия // Химия и жизнь — XXI век. — 2003. — №3. — С. 8—13.

СООБЩЕНИЕ 3

Периодический закон и углубление понимания свойств веществ; менделеевская трактовка понятия «химический элемент»; 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.

Источники информации

1. Дмитриев И. С. Человек эпохи перемен: очерки о Д. И. Менделееве и его времени / И. С. Дмитриев. — СПб., 2004.
2. Становление химии как науки: всеобщая история химии. / под ред. Ю. И. Соловьева. — М.: Наука, 1983. — Гл. 8.
3. Книга для чтения по неорганической химии. Кн. для учащихся. В 2 ч. / сост. В. А. Крицман. — 3-е изд. — М.: Просвещение, 1993. — Ч. 1. — С. 143—150.
4. Левицкий М. Открытия и судьбы // Химия и жизнь — XXI век. — 2001. — №11. — С. 64—67.

Научная классификация фиксирует закономерные связи между классами объектов с целью определения места объектов 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. Вместе с тем было установлено, что многие (но отнюдь не все) свойства атомов простых и сложных тел изменяются периодически и зависят от места соответствующего элемента в Периодической системе.

*В **новый** портфель*

48 СОСТАВ — СТРУКТУРА — СВОЙСТВА

Урок-семинар

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 Вещества простые и сложные. Качественный и количественный состав вещества (Химия, 9 кл.).

ЦЕЛЬ СЕМИНАРА Понять соотношение между тремя важнейшими характеристиками вещества — его атомным качественным и количественным составом, его структурой и его физическими и химическими свойствами.

ПЛАН СЕМИНАРА 1. Проблема генезиса свойств веществ в свете учения о составе тел. 2. Проблема генезиса свойств веществ в свете структурных представлений. 3. Проблема генезиса свойств веществ в свете квантовой теории строения атомов и химической связи.

Необходимые источники информации

1. Книга для чтения по неорганической химии. В 2 ч. / сост. В. А. Крицман. — 2-е изд. — М.: Просвещение, 1983. — Ч 1. — С. 230–243.
2. Энциклопедический словарь юного химика / сост. В. А. Крицман, В. В. Станцо. — 2-е изд. — М.: Педагогика, 1990. — С. 32—36, 57, 145—147, 269—271, 274—276.
3. История классической органической химии: всеобщая история химии / отв. ред. Н. К. Кочетков, Ю. И. Соловьев. — М.: Наука, 1992.

Заметим, что вопрос о взаимосвязи состава, структуры и свойств веществ — это не только главный вопрос данного урока-семинара, но главный, непреходящий вопрос химии. А если принять во внимание, что человека интересуют не только химические, но и физические свойства веществ, а также свойства, имеющие значение для биологии и медицины, то можно сказать, что сформулированный вопрос является фундаментальным вопросом естествознания. Но здесь мы ограничимся лишь одной стороной проблемы. Нас будут интересовать свойства молекул химических соединений, т. е. химию и физику твердых тел мы оставляем в стороне.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 1

Состав и свойства молекул.

Исторически первый ответ на вопрос о генезисе свойств веществ был таков: свойства соединения определяются его качественным и количественным составом (пример — теория кислот Лавуазье). Сопоставьте свойства следующих пар соединений: H_2O и H_2S; H_2O и H_2O_2.

Однако уже к середине XIX в. накопилось много фактов о соединениях, обладавших одинаковым качественным и количественным составом, но различными свойствами. Вот один из них.

Немецкие химики Юстус Либих и Фридрих Вёлер в 1822—1823 гг. независимо друг от друга изучали соли кислоты состава 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 Якоб Берцелиус, который предложил для таких соединений специальный термин (какой?). В чем состоит отличие гремучей кислоты Либиха от циановой кислоты Вёлера?

Как объяснить подобные случаи, когда соединения одинакового состава обладают разными свойствами, с позиций теории химического строения?

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 молочные кислоты: одна была обнаружена в кислом молоке (молочная кислота брожения), другая — в мышечной ткани (мясомолочная кислота, открытая Либихом еще в 1847 г.). Состав этих кислот одинаковый: $C_3H_6O_3$. Химическое строение (т. е. порядок связи атомов) тоже одинаково (каково?).

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 отличающихся 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. Однако в начале двадцатого столетия выяснилось, что для объяснения свойств молекул мало знать их состав, химическое строение и расположение в пространстве атомов или атомных групп. Необходимо принять во внимание также электронное строение молекул. Как свойства молекул зависят от их электронного строения?

ПОДВЕДЕНИЕ ИТОГОВ

Обсудите следующие вопросы: почему раствор соли проводит электрический ток, а раствор сахара — нет? Почему молекула аммиака реагирует с водой, а молекула метана не реагирует?

Свойства молекул химических соединений определяются:

— атомным составом молекул (количественным и качественным);

— последовательностью связей атомов в молекуле (т. е. ее химическим строением);

— пространственным расположением атомов и атомных групп в молекуле;

— электронным строением молекул.

49 БИОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМАТИКА

Урок-практикум

Растение именовано полностью, если оно снабжено и родовым, и видовым именем.

К. Линней

? Как биологическая классификация помогает осознать взаимозависимость состава, структуры и свойств? Что такое бинарная номенклатура? Как пользоваться определителем? Какими современными методами оперирует систематика?

Ключевые слова Вид • Таксон • Теза • Антитеза • Признак • ДНК

Из старого портфеля Биологическая систематика, понятие о виде, многообразие живых существ, нуклеиновые кислоты (§ 32—33 и Биология, 7—9 кл.).

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 Выполните последовательно задания и сделайте выводы по каждому заданию.

Библиотечный каталог

Каковы, по вашему мнению, принципы научной классификации?

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

1. Сформулируйте, в чем 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. Он предложил писать название вида на латыни в два слова: первое обозначает род, а второе — конкретный вид. Такое бинарное (двучленное) обозначение значительно упростило классификацию. Линней установил и принцип иерархичности систематических категорий (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.

Принцип определения состоит в том, что сначала устанавливается 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 Жи-

ПОДСКАЗКА

вотные — Animalia); из зоологии вспомним, что 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, каменный шмель — Bombus lapidarius) относится пойманное насекомое.

Любой определитель состоит из определительных таблиц, которые построены 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 приведенные 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 нее. 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 упоминавшегося выше шмеля сначала надо воспользоваться таблицей для определения отрядов насекомых, затем семейств отряда Перепончатокрылые, затем родов семейства Пчелиные и завершить определение таблицей для видов рода шмель.

Литература для дополнительного чтения

Новиков В. С., Школьный атлас-определитель высших растений / В. С. Новиков, И. А. Губанов. — М.: Просвещение, 1991.

3. Личинки многих видов животных совершенно непохожи 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. Причем 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 — филогении. Анализируется не целый геном, а отдельные его участки, гены или даже их фрагменты. Если последовательность нуклеотидов в выбранном нами 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 при помощи 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 организации • Прокариоты • Эукариоты • Протисты • Бактерии • Археи • Грибы • Растения • Животные

Из старого портфеля Систематика и разнообразие живых существ. Прокариоты и эукариоты. Автотрофный и гетеротрофный способы питания. Продуценты, консументы, редуценты. Строение клетки (см. § 31—32, 48 и 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 добавил еще и способ питания — автотрофный для растений и гетеротрофный для животных. Такая двуцарственная система живого просуществовала практически до наших дней, хотя время от времени и подвергалась сомнению.

Иеронимус Босх. Сад земных наслаждений

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 (зверушками). Однако среди этих зверушек обнаружились формы, как снабженные 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 жгутиконос-

цев. Таких «двуцарственных» 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 еще более очевидным с развитием электронной микроскопии и с широким внедрением в систематику методов молекулярной биологии.

СКОЛЬКО ЦАРСТВ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ СЛЕДУЕТ ВЫДЕЛИТЬ? Точного ответа на этот вопрос пока еще нет. Один из подходов к систематике организмов состоит в вычленении масштабных этапов их эволюции, каждый из которых отражает определенный уровень структурной организации живого, контрастно отличающийся от остальных. Речь идет о выделении подуровней в рамках онтогенетического уровня организации живых систем (см. § 29). Одно из таких подразделений мы уже знаем — это прокариоты и эукариоты.

Переход от одноклеточного состояния к многоклеточному был одним из важнейших шагов в эволюции живых существ, и совершался он независимо в разных группах эукариот. Первый его этап заключается в формировании многоклеточного организма в результате нерасхождения клеток, образовавшихся в ходе деления. При этом отдельные клетки, происходящие от одной материнской, удерживаются друг с другом механически при помощи слизи и т. п. От таких нестабильных клеточных объединений ведут два пути. Один — это формирование разнообразных многоклеточных слоевищ, а второй — совершенствование колониальной организации. Первый путь избрали многие низшие растительные организмы. Это привело к появлению того многообразия талломов, которое характерно для багрянок, золотистых, желто-зеленых, зеленых, бурых и ряда других водорослей. При этом бурые водоросли уже вплотную подошли к тканевой организации. У некоторых их представителей (рис. 56) таллом отчетливо подразделяется на пластинку, ножку и ризоиды, имеются значительные различия между клетками поверхностных слоев и сердцевины. Колониальные формы распространены не столь широко. Самые специализированные их представители, такие, как колониальный организм вольвокс, также демонстрируют дифференциацию клеток: клетки, расположенные впереди, несут более развитые жгутики и глазки, имеются половые клетки, дающие мужские и женские гаметы, и особые клетки, обеспечивающие бесполое размножение.

Рис. 56
Бурая водоросль фукус

Предложено различать пять царств живых существ (рис. 57). Все прокариоты объединяют в рамках царства **Монера**, четко обособленного от эукариот. Среди последних выделяют царства **Животные**, **Растения**, **Грибы** и **Протисты**. 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 отчетливо различаются и по своей экологической роли в биосфере: растения — это продуценты, животные — консументы, а грибы — редуценты (см. § 35).

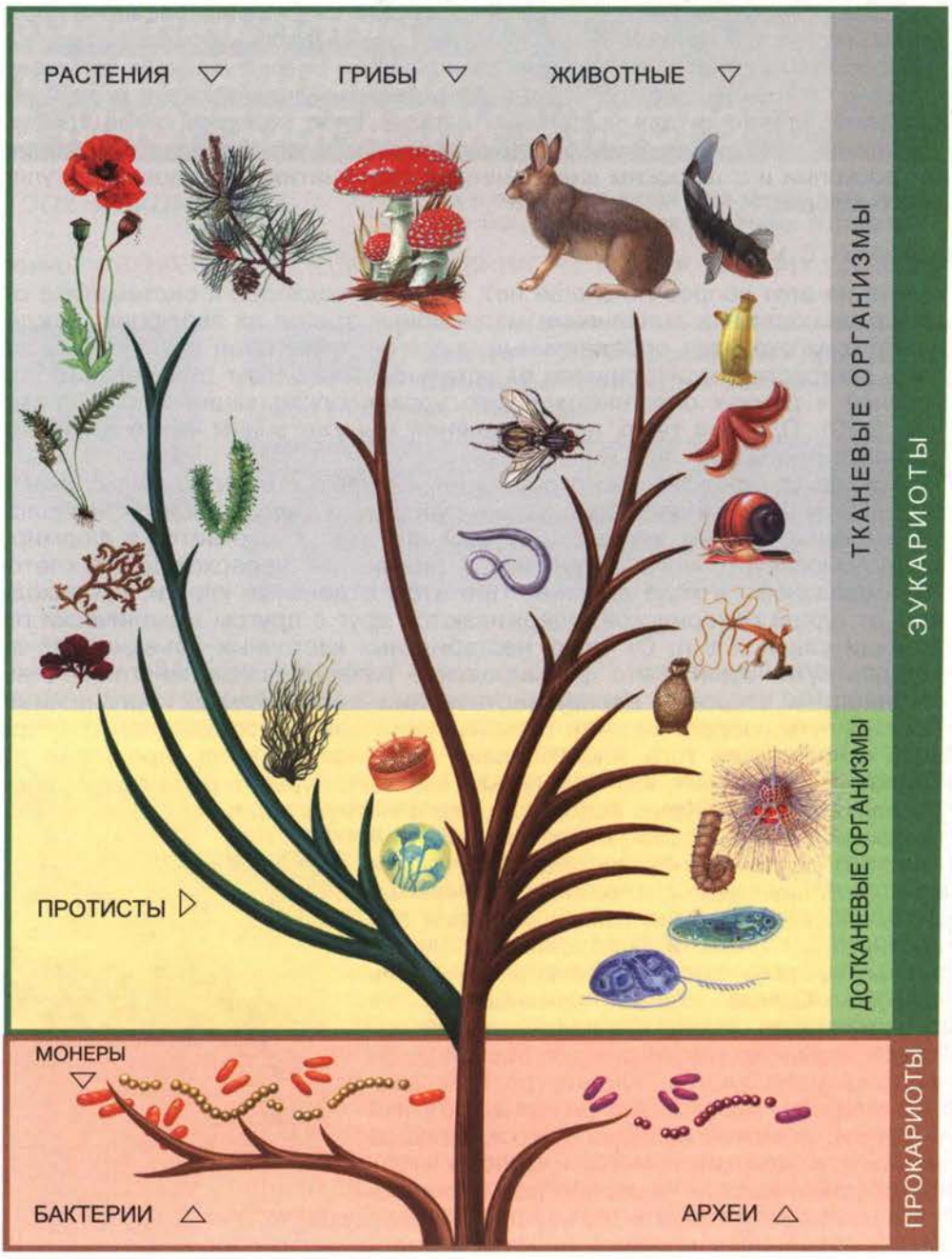


Рис. 57
Предполагаемая схема филогенетических взаимоотношений между царствами живых организмов

Сложнее обстоит дело с царством протистов, куда попадают все дотканевые организмы, среди которых есть и автотрофы (водоросли), и гетеротрофы (инфузории, амебы 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). Причем имеют место весьма разнообразные способы движения: при помощи жгутиков и ресничек, амебоидное и скользящее (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): гаплоидные, диплоидные и полиплоидные.

Подобное многообразие протистов неудивительно. Именно на уровне дотканевых эукариот шла эволюция эукариотной организации, приобретались 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. § 84). 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 отчетливо распадаются на два царства — **Бактерии** и **Археи**. Первых подавляющее большинство, именно о них у нас шла речь в § 33. Архей всего около 45 видов, и живут они 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 (см. рис. 57).

Широкое внедрение методов молекулярной биологии привело к подлинной революции и в систематике эукариот. Оказалось, что различия 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). Идет активный поиск объективных подходов, которые позволили бы объединить представления, выработанные в рамках классической ботаники и зоологии, с данными, которые предоставляет использование молекулярно-биологических методов. Процесс этот еще не завершен, но уже сейчас очевидно, что реальное разнообразие эукариотических организмов чрезвычайно велико и не укладывается не только в рамки аристотелевской классификации, но и даже в те четыре царства эукариот, которые мы описали.

??

- Какие критерии использовали Аристотель, Линней и Ламарк для выделения царств растений и животных?
- Какие подуровни внутри онтогенетического уровня организации живого можно выделить?

Выделение высших таксонов живых организмов — царств — на основе классических критериев не соответствует современным данным. В то же время этих данных пока еще недостаточно, чтобы четко определить число и состав царств живых организмов, населяющих нашу планету.

В ***новый*** *портфель*

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 • Триплетность • Кодон • Антикодон • Транскрипция • Трансляция • мРНК • тРНК

Из старого портфеля Нуклеиновые кислоты, аминокислоты и белки, строение клетки, рибосома, многообразие живого (§ 29—33 и 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 идет о кодировании в структуре участка молекулы ДНК сведений о совершенно другом веществе — белке, который обладает своими собственными свойствами, определяемыми его структурой, и выполняет определенную функцию. Собственно, механизм такого преобразования информации, заключенной в структуре ДНК, в структуру и свойства белка и является фундаментальным свойством живого, определившим появление в природе такого феномена, как жизнь (§ 29–30, 79).

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД. Со времени открытия Дж. Уотсоном и Ф. Криком строения ДНК ученые стали искать ключ к тому шифру, с помощью которого на молекуле ДНК записана информация о белке. 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 четырех «букв»-нуклеотидов дает $4^3 = 64$ 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**. Нача-

лом реализации записанной на них информации служит создание РНК-копии структурного гена — **транскрипция** (переписывание) (рис. 58).

Важная роль в процессе транскрипции принадлежит ферменту РНК-полимеразе. Он распознает 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 нем РНК-копии. Процесс этот протекает в строгом соответствии с принципом комплементарности и сходен с образованием новой цепи ДНК в ходе репликации (§ 30–31). РНК-полимераза перемещается по матричной цепи ДНК и постепенно наращивает комплементарную ей цепь РНК. Фермент продолжает присоединять нуклеотиды к растущей цепи РНК, пока не дойдет до конца гена. Достигнув этой точки, РНК-полимераза сходит с цепи ДНК, а затем от нее отсоединяется и образовавшаяся РНК-копия, называемая информационной или матричной (мРНК). Вслед за этим цепочки ДНК расплетенного участка соединяются вновь и восстанавливают форму двойной спирали. Транскрипция завершена, мРНК поступает через ядерные поры в цитоплазму.

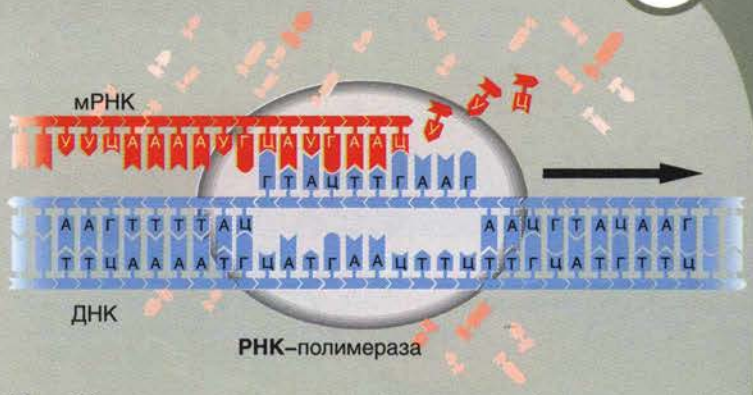


Рис. 58
Схема транскрипции

ТРАНСЛЯЦИЯ. В ходе **трансляции** записанная на мРНК в виде последовательности нуклеотидных оснований информация преобразуется в последовательность аминокислот. Процесс этот протекает на рибосомах, и для его успешной реализации необходим еще один тип РНК — короткие транспортные РНК (тРНК). Каждая молекула тРНК имеет определенную пространственную конфигурацию, несколько напоминающую листок клевера (рис. 59).

В центре молекулы (на верхушке среднего «листка клевера») располагается триплет — **антикодон**, способный спариваться 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. 60, *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 еще остаются присо-

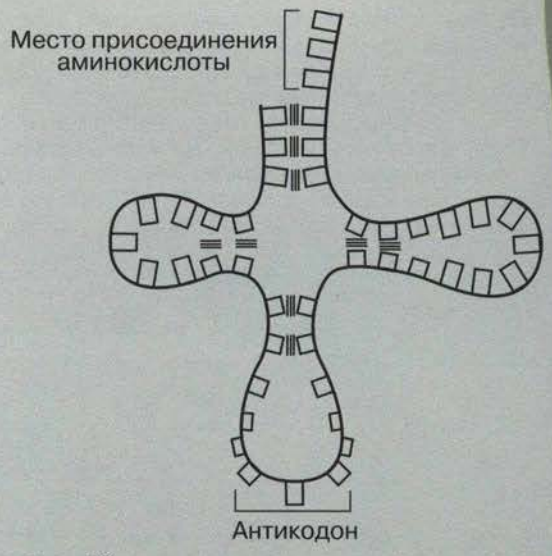


Рис. 59
Молекула тРНК

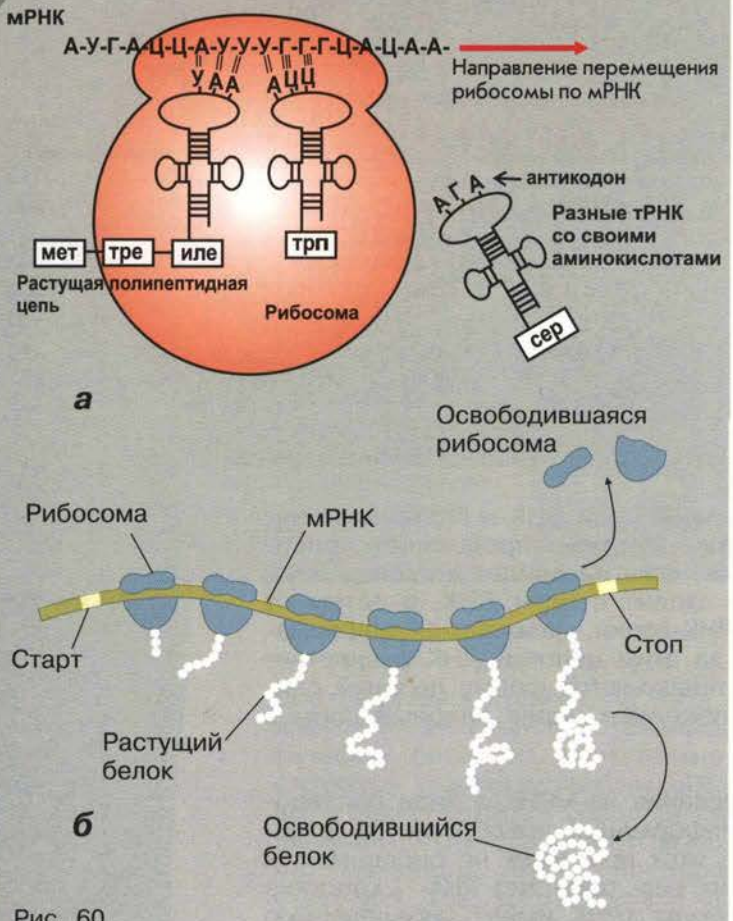


Рис. 60
Биосинтез белка (*а*) и схема строения полисомы (*б*)

единенными к комплексу. После этого первая тРНК покидает рибосому, чтобы присоединить новую молекулу соответствующей ей аминокислоты. Тем временем рибосома продвигается вдоль мРНК и вторая тРНК с присоединенной к ней аминокислотой занимает место первой. Все это повторяется многократно до тех пор, пока рибосома не дойдет 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 нее, транслируют кодон за кодоном новые молекулы белка (рис. 60, *б*). Такая структура получила название **полисома**. 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 энергоемких в реакциях пластического обмена клетки. На образование одной пептидной связи в синтезируемом белке расходуется четыре молекулы АТФ — две при присоединении аминокислоты к тРНК и две непосредственно на рибосоме.

Передача генетической информации идет по цепочке ДНК — мРНК — белок. Этот процесс проходит при участии многих ферментов и требует затрат энергии, поставляемой АТФ. Генетический код: триплетен, поскольку каждая аминокислота кодируется определенным сочетанием из трех нуклеотидов, называемым кодоном, однозначен, вырожден и универсален. В ходе транскрипции происходит матричный синтез мРНК с участка ДНК — структурного гена, несущего информацию о белке. Синтез белка в соответствии с записанной на зрелой мРНК информацией (трансляция) проходит на рибосомах, куда молекулами тРНК доставляются аминокислоты. Правильность трансляции обеспечивается тем, что молекула тРНК, обладающая определенным антикодоном, может связываться только с определенной аминокислотой. Кодоны мРНК последовательно распознаются антикодонами тРНК, а связанные с этими тРНК аминокислоты соединяются друг с другом, формируя белок.

В ***новый*** *портфель*

? ?

- ▷ Что такое генетический код?
- ▷ Как устроены тРНК?
- ▷ Как происходит синтез белка на рибосоме?
- ▶ К чему приводит преобразование генетической информации?
- ▶ Почему носителями генетической информации являются именно нуклеиновые кислоты?

52 ЗАВИСИМОСТЬ СВОЙСТВ ОБЪЕКТОВ ОТ СТРУКТУРЫ И СОСТАВА — ОПЫТ ИСКУССТВА

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 открыло вам искусство? Способно ли искусство помочь науке воссоздать многомерную картину мира?

Из старого портфеля История (разделы по художественной культуре) — импрессионизм как явление художественной культуры, эксперименты и открытия импрессионистов (Всеобщая история. История Нового времени. 8 кл.). Мировая художественная культура — импрессионизм в зарубежной и отечественной культуре (МХК). Физика — явление диффузии, оптика (Физика, 8—9 кл.).

ЦЕЛЬ СЕМИНАРА

Показать роль и значение искусства как способа познания окружающего мира для расширения сферы естественнонаучных 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 ученые 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 легким, почти прозрачным или, наоборот, очень

Винсент Ван Гог. Стая ворон над полем

Сильвестр Ф. Щедрин. Вид с Петровского острова в Петербурге

Максим Воробьев. Большая Нева

Карл Беггров. Обуховский мост через Фонтанку

густым. Рассмотрите репродукцию картины Ван Гога «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, создает такое объемное изображение? Что вы чувствуете, когда рассматриваете это произведение? Обсудите ваши ощущения.

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, сделанные разными художниками в разное время.

Рассмотрите их и почувствуйте настроение каждого произведения. Попытайтесь описать словами это настроение. Сравните свои впечатления и обсудите, зависит ли характер изображения от того, выполнено ли оно густыми масляными красками (у Щедрина), прозрачной легкой акварелью (у Воробьева) или в черно-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 картину импрессиониста Клода Моне.

Художник сумел передать ощущение простора, солнца, 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 ваши наблюдения.

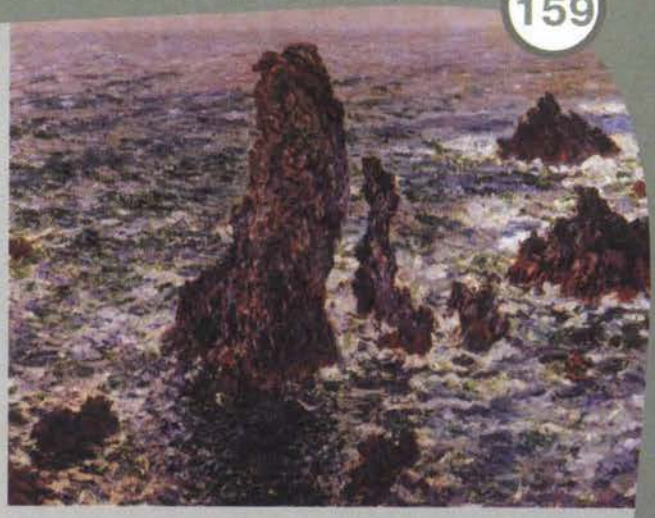
А теперь сравните то, как написано море у К. Моне (или других импрессионистов) и на картине русского художника первой половины XIX в. Г. В. Сороки.

Заметили ли вы разницу? Как вы думаете, влияет ли структура и порядок нанесения цветовых мазков на характер и настроение, которое зритель ощущает в картине? Аргументируйте свое 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 объем предметов могут изменяться в зависимости от освещения, времени суток или цвета находящихся рядом предметов. Поэтому 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.



Клод Моне. Скалы в Бель-Иль

Григорий Сорока. Рыбаки

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 ее 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 позицию.

Фрагмент шпалеры «Заяц и собака»

Эжен Грассе. Весна

Икона. Борис и Глеб

Глава 4

ПРИРОДА В ДВИЖЕНИИ, ДВИЖЕНИЕ В ПРИРОДЕ

ОБРАЗ И МЫСЛЬ

Винсент Ван Гог (1853 – 1890)
Звездная ночь (1889). Музей современного искусства, Нью-Йорк

- Рассмотрите репродукцию картины Ван Гога. Как вам кажется, какое состояние, настроение окружающего мира стремился запечатлеть художник? Что на картине помогло вам почувствовать это состояние, настроение?
- Попробуйте определить, есть ли движение в пространстве картины. Что, как вам кажется, движется?
- Не кажется ли вам парадоксальным замысел авторов учебника начать главу о движении с рассмотрения картины, которая по своей природе статична? Приведите аргументы в защиту своей точки зрения.

ПРЕАМБУЛА:

Если попросить вас привести примеры движения, то, скорее всего, вы расскажете о движущемся автомобиле, идущем человеке или летящем мяче. А движутся ли растения? Возможно, вы видели киносъемку, на которой кадры, запечатлевшие растение, сделаны через большие промежутки времени. На этих кадрах рост растений виден как явное движение. Можно сделать вывод о том, что не любое движение непосредственно заметно для глаза.

Другим примером незаметного для глаза движения является свет. Мы ощущаем свет, но не видим, как он движется. А движется ли тепло? Из курса физики вы знаете, что тепло есть результат движения не видимых глазом микрочастиц, составляющих вещество. Значит, говоря о передаче тепла, мы говорим о движении частиц.

Движение присуще природе, природа не существует без движения. Однако форма движения, как следует из приведенных примеров, может быть различной. Движение нельзя свести просто к перемещению какого-либо объекта в пространстве. В общем случае под движением понимают любое изменение рассматриваемой системы со временем.

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? Что является причиной механического движения? В чем же был прав «упрямый Галилей»?

Ключевые слова Механическое движение • Система отсчета • Относительность движения • Кинематика • Динамика • Материальная точка • Система координат • Траектория движения • Инерциальная система отсчета

Из старого портфеля Механическое движение. Относительность движения. Путь. Скорость. Ускорение. Движение по окружности. Инерция. Первый закон Ньютона. Взаимодействие тел. Масса. Плотность. Сила. Сложение сил. Второй закон Ньютона (Физика, 7—9 кл.). Литосфера (География, 7 кл.).

ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ. Движение как изменение положения тела в пространстве относительно других тел с течением времени называют **механическим движением**. Тело, относительно которого рассматривают движение, связанная с ним система координат и часы для измерения времени образуют **систему отсчета.**

Еще Галилей установил характер **относительности движения**. С давних времен людей интересовал вопрос, не существует ли какой-либо абсолютно покоящейся системы отсчета. Древний философ Птолемей считал, что такой системой является наша Земля, а остальные небесные тела и другие объекты движутся относительно Земли. На рисунке 61, *а* приведена схема движения небесных тел по Птолемею.

Коперник предложил описывать движение планет в другой системе отсчета, где неподвижным является Солнце. Схема движения планет в этом случае выглядит так, как показано на рисунке 61, *б*.

Так в чем же прав «упрямый Галилей»? На первый взгляд может показаться, что схема движения по Копернику проще, чем схема движения по Птолемею. Но простота эта кажущаяся. Чтобы наблюдать движение планет вокруг Солнца, нам необходимо удалиться от Солнечной 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 упрямиться? Оказывается, это не совсем так. Описания движения в различных систе-

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 движений в разных системах отсчета. Солнце вместе с другими звездами 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.

а

б

Рис. 61
Система движения планет: по Птолемею (*а*); по Копернику (*б*, современные представления)

мах отсчета (Птолемея и Коперника) эквивалентны, пока мы исследуем **кинематику** движения, т. е. не рассматриваем причины, вызывающие движения.

Механическое движение имеет относительный характер, т. е. движение всегда происходит относительно некоторой системы отсчета. При кинематическом описании движения все системы отсчета эквивалентны.

В ***новый*** *портфель*

ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИЖЕНИЯ. До сих пор мы говорили лишь о качественном описании движения. Но в естественных науках важно уметь описывать процессы количественно. Сделать это, вообще говоря, не так просто. Попробуйте описать движение птицы в полете. Но если вас не интересуют отдельные детали, вы можете моделировать движение птицы как движение некоторого малого объекта. В физике для обозначения такого объекта используют понятие **материальная точка**.

Движение материальной точки описывается наиболее просто. Происходит это при помощи введения **системы координат.** При движении материальной точки ее координаты изменяются.

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 звезд на небесной сфере, если сделаем фотографию небесной сферы, открыв объектив фотоаппарата на длительное время (рис. 62).

До сих пор говорилось о движении материальной точки. Как описать движение более сложных объектов? Для этого необходимо мысленно разбить объект

Напомним, что характеристику движения, показывающую, насколько изменяются координаты со временем, называют скоростью. Движение, при котором скорость остается постоянной по модулю и направлению, называют равномерным движением. Изменение скорости называют ускорением. Материальная точка движется с ускорением, если скорость изменяется по числовому значению, по направлению или одновременно по значению и направлению.

а

б

Рис. 62
Фотографии: метеоритный дождь (*а*); движение звезд, снятое при длительной экспозиции (*б*)

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.

В ***новый*** *портфель*

на отдельные точки и описать движение каждой точки. В простейшем случае, например при движении футбольного мяча или Земли вокруг Солнца, такое движение можно представить как поступательное движение плюс вращение. В более сложном случае, например при полете птицы, движение каждой точки придется описывать отдельно. Именно так поступают компьютерные программы, анимирующие движения какого-либо персонажа на экране монитора.

ПРИЧИНЫ ДВИЖЕНИЯ. Раздел механики, который описывает причины изменения движения тел, называется **динамикой**. Историческое развитие динамики шло непростым путем.

Древнегреческий философ Аристотель считал, что для равномерного движения тела необходимо воздействие на него некоторой силы. Галилей, проделав ряд опытов, пришел 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 мячик. Что будет с мячом, когда вагон тронется? Без действия дополнительных сил мяч начнет двигаться с ускорением. Чтобы уточнить формулировку Галилея, Ньютон ввел понятие **инерциальная система отсчета**. Инерциальной системой отсчета называют такую систему, в которой тело в отсутствие взаимодействия с другими телами покоится или движется равномерно. В нашем примере вагон метро является неинерциальной системой отсчета. Такой системой является любая система отсчета, движущаяся с ускорением относительно инерциальной системы отсчета.

Оказывается, что, строго говоря, инерциальных систем отсчета в природе нет. Например, стол учителя в вашем классе вращается вместе с Землей, а следовательно, движется с ускорением. Однако во многих случаях, например при демонстрации школьных опытов, такая система отсчета может рассматриваться как приближенно инерциальная. А вот если мы попытаемся описать в этой системе отсчета движение планет, то это будет совершенно неправильно. Для описания движения планет инерциальной системой отсчета можно приближенно считать систему, центр которой находится в центре Солнца, а оси ориентированы по звездам. Именно по этой причине движение небесных тел в системе Коперника описывается лучше, чем в системе Птолемея.

Мы приходим, таким образом, к выводу, который известен как первый закон Ньютона: ***в инерциальной системе отсчета 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.

??

- ▷ В чем смысл относительности механического движения?
- ▷ Что является причиной движения тел?
- ▶ По плоту, движущемуся по течению реки, перпендикулярно скорости движения плота и со скоростью, в два раза большей скорости течения, идет человек. Нарисуйте траекторию движения человека относительно берега.

В ***новый*** *портфель*

Ускорение тела в инерциальной системе отсчета пропорционально сумме всех сил, действующих на него, и обратно пропорционально массе тела.

54 ВИДИМОЕ ДВИЖЕНИЕ ПЛАНЕТ

Урок-практикум

Все, что выходит за рамки геометрии, выходит за рамки нашего понимания.

Б. Паскаль

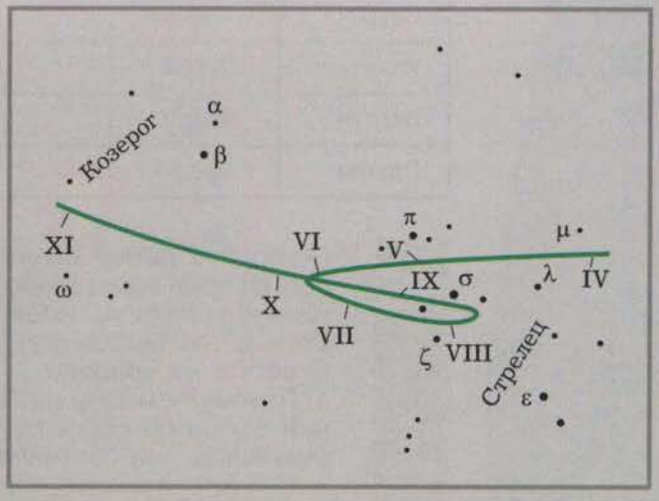
?

Как построить траектории движения планет Солнечной системы в геоцентрической и гелиоцентрической системах отсчета? Почему планеты на небесной сфере описывают петлю? От чего зависит угловой размер петли планеты? Как Коперник оценил относительные расстояния от Солнца до планет?

Из ***старого*** *портфеля*

Закон всемирного тяготения. Геоцентрическая и гелиоцентрическая системы мира (Физика, 9 кл.).

Наблюдения за небом. Гравюра из трактата Гевелия «Селенография, или Описание Луны»



Петлеобразная траектория Марса

ЦЕЛЬ РАБОТЫ Научиться строить траектории тел в разных системах отсчета.

ПЛАН РАБОТЫ Определите по результатам наблюдений, как зависит скорость обращения планет вокруг Солнца от расстояния планеты до Солнца. Постройте кривую видимого движения планеты Марс на небесной сфере.

1. В таблице приведены результаты наблюдений за планетами Солнечной системы: их периоды обращения вокруг Солнца относительно звезд (T); средние расстояния до планет от 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 вопросы:
1. Какова зависимость линейной скорости обращения планеты от расстояния до Солнца?
2. Оцените примерную линейную скорость движения планет вокруг Солнца. Сделайте вывод о зависимости скорости движения планеты вокруг Солнца от расстояния планеты до него.
Заполните таблицу.

ПОДСКАЗКА Скорость связана с радиусом окружности и периодом формулой $\upsilon = 2\pi r/T$. Для расчета переведите расстояния в километры, периоды в секунды.

Планета	Звездный период обращения вокруг Солнца, T, лет	Звездный период обращения вокруг Солнца, T, с	Среднее расстояние до Солнца, r, а. е.	Среднее расстояние до Солнца, r, км	Линейная скорость движения, υ, 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		
Плутон	248,60		39,48		

2. Постройте петлю попятного движения планеты Марс по небесной сфере геометрическим способом, но с точки зрения земного наблюдателя, имея в виду, что планеты движутся вокруг Солнца (по Копернику).
Ответьте на вопросы:
1. Почему земному наблюдателю кажется, что планета на небесной сфере описывает развернутую петлю, а не просто идет вперед-назад, как получилось на нашем рисунке в задании 2?
2. 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.

ПОДСКАЗКА

Для этого заготовьте схему, на которой покажите положение Солнца, орбиту Земли (в приближении окружности), орбиту Марса, который расположен, как видно из таблицы, на расстоянии в 1,5 раза большем, чем Земля, от Солнца. Наблюдателю с Земли кажется, что планета описывает петлю, когда Земля обгоняет в своем движении внешнюю планету, например Марс, или внутренняя планета, например Венера, обгоняет в своем орбитальном движении Землю.

Расположите на орбитах Землю и Марс вблизи этого положения. Отметьте несколько точек траектории этих планет — 1, 2, ..., 8, соответствующих восьми положениям планет. Учтите, что Марс движется медленнее Земли примерно в 1,2 раза. Обозначьте сферу неподвижных звезд. 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 определенные моменты времени (1, 2, ..., 8). На рисунке 63 показано лишь видимое положение планеты в момент времени 1. Достройте положения 2, 3, ..., 8 и убедитесь в том, что земному наблюдателю кажется в период, когда Земля обгоняет Марс в своем орбитальном движении, что на небесной сфере Марс сначала идет в прямом движении на фоне звезд (с запада на восток), потом останавливается, поворачивает обратно (попятное движение) и после этого снова движется вперед. Нам кажется, что планеты описывают петлю, потому что в это время в своем 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 развернутой.

В разных системах отсчета с точки зрения кинематики траектория движения выглядит по-разному. Видимое движение планет на небесной сфере — это отражение движения с точки зрения земного наблюдателя. Геометрические построения и использование данных наблюдений позволяют оценить относительные расстояния до планет. Впервые такую оценку сделал Коперник, описывая свою гелиоцентрическую систему мира.

В новый портфель

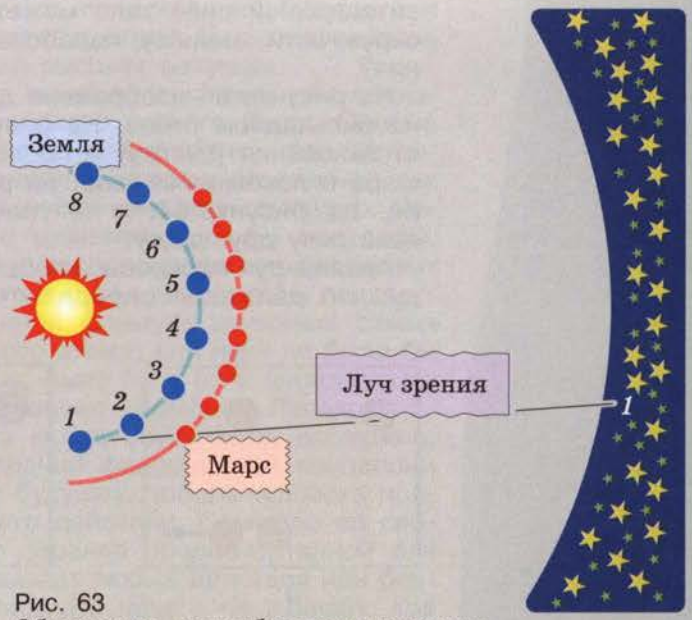


Рис. 63
Объяснение петлеобразного движения планет

Литература для дополнительного чтения

1. Белонучкин В. Е. Кеплер, Ньютон и все, все, все / В. Е. Белонучкин. — М.: Наука, 1986.
2. Марленский А. Д. Основы космонавтики / А. Д. Марленский. — М.: Просвещение, 1985.

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 чем смысл лапласовского детерминизма? Как связаны лапласовский детерминизм и жизнь человека? Справедлива ли концепция лапласовского детерминизма с точки зрения современной науки?

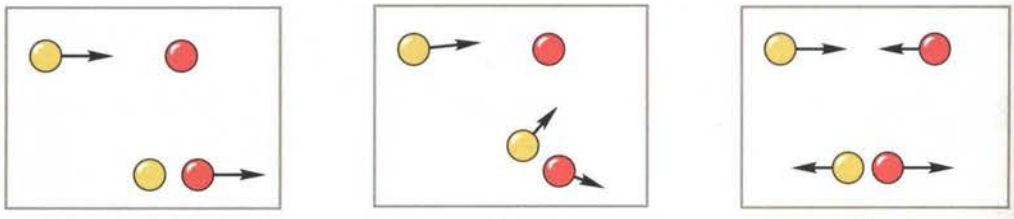
Ключевые слова Состояние системы • Детерминизм процессов

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 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 движение тел различается. Точно так же при одинаковой гравитационной силе тело может двигаться по различным траекториям — окружности, эллипсу, параболе. От чего же еще зависит характер движения?

На рисунке 64 изображено движение в более сложной системе — шары на бильярдном столе. На рисунке 64, *а* изображены скорости шаров до столкновения (вверху) и после столкновения (внизу) при лобовом ударе шара о покоящийся шар; на рисунке 64, *б* — то же при скользящем ударе; на рисунке 64, *в* — траектории в случае, когда шары движутся навстречу друг другу.

Анализируя процессы, изображенные на рисунке, можно прийти к выводу, что движение определяется начальным положением и начальными



а *б* *в*

Рис. 64
Движение бильярдных шаров при различных начальных состояниях

скоростями всех тел, составляющих систему. Но, может быть, движение зависит от каких-либо еще начальных характеристик, например начальных ускорений? Ответ простой. Согласно второму закону Ньютона ускорения 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 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.

Законы классической (ньютоновской) механики утверждают, что 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 превосходит по крайней мере значение 10^{75} (число действительно астрономическое). Во-вторых, мы еще 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 ученого Пьера Симона Лапласа, сформулировавшего этот принцип в начале XIX в.). Лаплас писал: «Мы должны рассматривать современное состояние Вселенной как результат ее предшествующего состояния и причину последующего. Разум, который для какого-нибудь данного момента знал бы все силы, действующие в природе, и относительное расположение ее составных частей, если бы он, кроме того, был достаточно обширен, чтобы подвергнуть эти данные анализу, обнял бы в единой формуле движения самых огромных тел во Вселенной и самого легкого 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 все будущее любого человека полностью предопределено и не зависит от его действий. Согласно ей свободы выбора у человека нет, он идет 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, следующие 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 учетом существования полей.

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 «концепция лапласовского детерминизма».

В ***новый*** *портфель*

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 производили и какие бы расчеты 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.

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 макромире. Наблюдаемые детерминированные процессы в макромире являются скорее исключением, чем правилом.

В ***новый*** *портфель*

Квантовая теория оказывается справедливой и в макромире. Детерминированные процессы, например движение планет вокруг Солнца, на самом деле являются лишь приближенно 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 предопределены сегодняшним состоянием мира и во многом зависят от нас самих и от нашего выбора.

? ?

- ▷ 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 осуществить предсказание развития мира на основе классической механики? В чем трудности осуществления такого предсказания?

56 ДВИЖЕНИЕ КАК РАСПРОСТРАНЕНИЕ. ВОЛНЫ

Урок-лекция

Вздымаются 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?

Ключевые слова Волны упругости • Электромагнитные волны

Из старого портфеля Механические колебания и волны. Звук. Электромагнитные волны (Физика, 7—9 кл.). Климат (География, 7—8 кл.).

ЧТО ТАКОЕ ВОЛНА? Движение волн человек наблюдал с древних времен, 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, которое приводится в эпиграфе, 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 все совокупное движение в какой-либо области пространства. То, что волны движутся, очевидно следует из опыта.

Кацусика Хокусай. Большая волна

Закрепим один конец веревки на опоре, а за другой натянем веревку, держа ее в руке. Сделав рукой резкое движение, показанное стрелками на рисунке 65, мы увидим, как по веревке побежит волна. Несложно понять, что частицы веревки 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 частичек воды. В этом легко убедиться, бросив в волну щепку. Если бы частички воды двигались вместе с волной, они увлекали бы за собой щепку. Однако, поколебавшись с волной, щепка остается на месте.

Результаты опытов указывают на то, что процесс движения волны не является перемещением частиц со скоростью волны. Волна — это процесс распространения колебания частиц. В более общем случае, например в **электромагнитной волне**, колеблются

Волна — это процесс распространения колебаний различной природы во времени и в пространстве.

В новый портфель

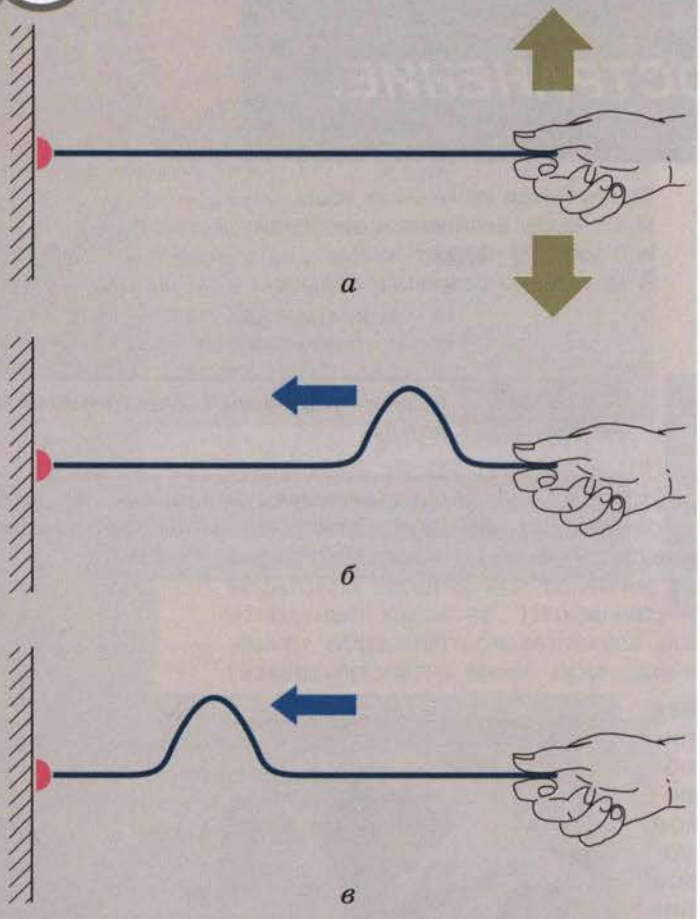


Рис. 65
Волна в натянутой веревке

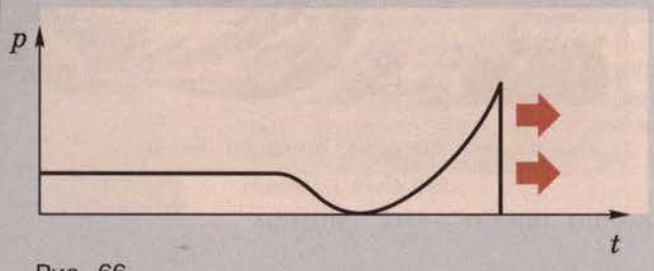


Рис. 66
Зависимость давления от расстояния в ударной звуковой волне

не частицы, а поля. При этом нельзя сказать, что поле перемещается в пространстве. Оно просто исчезает в одной точке пространства и возникает в другой точке пространства. 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 (рис. 66). 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 звезд, который представляет собой электромагнитную волну. Но, может быть, закрывшись в темной комнате, мы спрячемся от волн? И это невозможно. В комнату проникают радиоволны, а стены комнаты, как и мы сами, излучают электромагнитные волны, невидимые для глаза.

Природа волн очень разнообразна, однако увидеть волны можно только в исключительных случаях; примером являются волны на поверхности воды и волна в натянутой веревке (см. рис. 65). В этих случаях мы видим колебания. Колебания, происходящие в других волнах, невидимы и могут быть изучены только при применении специальных приборов. Примером является звук, представляющий 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 твердых 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, составляющих вещество. При распространении электромагнитных волн никакие частицы не движутся, происходит просто изменение электрических и магнитных полей в пространстве.

Электромагнитные поля обычно регистрируются приборами, но некоторые из них, например свет, воспринимаются органами чувств, хотя никаких колебаний мы при этом не видим. Мы привели далеко не все примеры волн, однако и этих примеров достаточно, чтобы составить представление о большом разнообразии волн.

Волны могут иметь разнообразную природу. *В **новый** портфель*

ШКАЛА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН. Из курса физики вспомните понятие «длина волны».

Электромагнитные волны являются наиболее распространенными 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 (10^{-12} м). В таблице приведены названия волн различных диапазонов и некоторые свойства волн.

Длина волны	Название диапазона	Источник волны	Влияние на организм	Применение
10 км—0,1 мм	Радиоволны	Ускоренное движение свободных (не связанных с ядрами) электронов	Слабые волны не оказывают влияния, сильные волны оказывают отрицательное воздействие	Связь, радиовещание и телевещание, радиолокация, нагревательные приборы (микроволновые печи)
0,1 мм—750 нм (1нм = 10—9 м)	Инфракрасный диапазон	Движение электронов и ядер в молекулах и кристаллах	Воспринимаются организмом как тепловое ощущение	Нагревательные приборы, приборы ночного видения, передача сигналов на расстояние прямой видимости (пульты дистанционного управления различных приборов)
750 нм—350 нм	Волны видимого диапазона	Движение электронов в атомах и молекулах	Воспринимаются глазом как свет	Различные оптические приборы
350 нм—10 нм	Ультрафиолетовый диапазон		Волны с длиной волны, близкой к длине волны видимого диапазона, при не очень сильном воздействии оказывают положительное влияние на организм (загар, образование витамина В в организме). Более короткие волны оказывают вредное воздействие на организм (провоцирование раковых заболеваний и генных мутаций)	Кварцевые лампы
10 нм—10 пм	Рентгеновский диапазон	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
1 пм—0,01 пм	Диапазон γ-излучения	Движение заряженных частиц в ядрах атомов		Анализ возраста ископаемых останков (метод радиоуглеродного анализа)

Добавим к информации, которая указана в последней колонке таблицы, что волны всех диапазонов используются для определения спектров различных веществ. На основе анализа спектров получается информация о составе веществ. Кроме того, волны всех диапазонов находят в настоящее время применение в медицине (УВЧ- и СВЧ-терапия, флюорография, лазерная хирургия глаза, лечение раковых заболеваний и др.).

ОБРАЗ ЖИЗНИ 1. 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.

2. Некоторые «безобидные» приборы, например лазерные указки, оптические мыши, излучают свет, способный повредить зрение при прямом попадании в глаз. Не играйте с такими приборами, направляя излучение в глаз!

??

- Чем обусловлено вредное воздействие некоторых электромагнитных волн на живые организмы?
- Могут ли оказывать вредное воздействие на организм волны другой (не электромагнитной) природы? Приведите примеры.
- Проделайте опыт с волной в натянутой веревке и попытайтесь ответить на вопросы: а) какова скорость распространения такой волны; б) как эта скорость изменяется при изменении натяжения веревки и при изменении свойств веревки (например, ее толщины)?

57 СВОЙСТВА ВОЛН

Урок-лекция

Бросая в воду камешки, смотри на круги, ими образуемые, иначе такое бросание будет пустою забавою.

Козьма Прутков

?

Какие свойства обнаруживают волны? Какие свойства являются общими для волн и частиц?

Ключевые слова Суперпозиция волн • Монохроматические волны • Длина волны • Частота волны • Интерференция волн • 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, пытаясь разобраться в их природе и свойствах.

ФОРМА ВОЛН. Из двух примеров волн, приведенных в предыдущем параграфе, колебания которых можно увидеть, следует, что форма волн может сильно различаться. Волна от брошенного в воду камня имеет форму расширяющихся кругов. Волна в натянутой веревке — изгиб, дви-

жущийся вдоль веревки. О том, насколько разнообразна форма волн, можно судить по волнам на море или большом озере. Оказывается, что и форма невидимых 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 по мере распространения волны проходят одна через другую, складываясь. В тех местах, где каждая из волн имеет горб, поверхность воды поднимется на высоту, равную сумме высот каждого из горбов. То же самое можно заметить для точек, в которых обе волны имеют впадины. Если же в какой-то точке одна волна имела горб, а другая — впадину, то, складываясь, волны гасят друг друга. Явление взаимоусиления или 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 происходит? 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 называется **принципом суперпозиции волн.**

Сложение нескольких волн приводит к образованию новой волны. Любую волну можно представить как сумму нескольких волн, причем 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 67 приведены графики зависимости давления в звуковой волне от координаты X, вдоль которой распространяется волна, и от времени.

Монохроматической волной называют волну, изменяющуюся во времени и в пространстве по синусоидальному закону. *В* ***новый*** *портфель*

«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. 19 на с. 67) каждой узкой одноцветной полоске, например полоске в спектре натрия (см. рис. 20 на с. 68), соответствует волна, близкая к синусоидальной. В данном случае одноцветная волна имеет явный смысл. Эта терминология была перенесена на волны другой природы.

На рисунке 67 приведены также некоторые параметры, характеризующие монохроматическую волну. **Периодом волны** T называют время, за которое происходит одно колебание (измеряется в секундах). **Длиной волны** λ называют пространственный интервал, соответствующий одному периоду волны. Помимо этого, вводят понятие «частота волны» $\nu = 1/T$ — число коле-

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.

В новый портфель

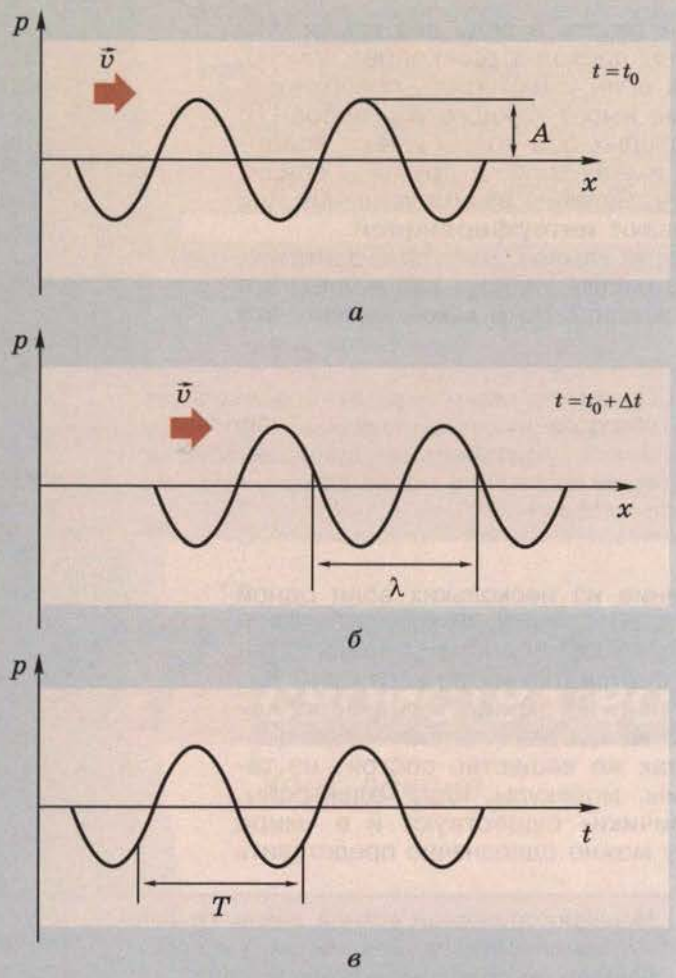


Рис. 67
График зависимости давления в звуковой монохроматической волне от расстояния в некоторый момент t_0 (*а*) и в некоторый последующий момент времени $t_0 + \Delta t$ (*б*). График зависимости той же волны от времени в некоторой точке пространства (*в*)

Дифракцией называют явление огибания препятствий волнами различной природы. Волны любой природы свободно огибают препятствия с размерами, сравнимыми или меньшими длины волны.

В новый портфель

баний волны в одну секунду (измеряется в герцах). Эти параметры связаны со скоростью распространения волны υ соотношением $\upsilon = \lambda\nu$. Амплитудой волны (на рисунке она обозначена через *A*, однако для разных типов волн могут применяться различные обозначения) называется максимальное 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 диапазона.

Монохроматические волны обладают рядом замечательных свойств. В частности, при распространении монохроматической волны ее 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.

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 препятствием с большими размерами (например, плавающий в воде плот) волны исчезают. Вывод, который можно сделать, оказывается справедлив для волн любой природы: волны свободно огибают препятствия, размеры которых сравнимы или меньше длины волны. Такое явление называют дифракцией.

Именно дифракция не дает возможности увидеть атомы и молекулы в микроскоп со сколь угодно большим увеличением. Размеры атомов и молекул много меньше длины волны видимого света.

ОБЩИЕ СВОЙСТВА ВОЛН И ЧАСТИЦ. Такой объект природы, как волны, совсем не похож на частицы, а «элементарные кирпичики», из которых можно составить любую волну, бесконечны в пространстве и во времени. Тем не менее у волн и частиц есть общие свойства. Начнем с примера. Бросив камень в окно, можно разбить стекло. Но, как вы, наверное, знаете, оконные стекла разбиваются и при взрывах, в результате которых образуется ударная звуковая волна (см. рис. 66). 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 дает импульс тела, т. е. камень разобьет 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, отраженный от компакт-диска, на белый экран. Что вы наблюдаете? Как объяснить результат наблюдения?

58 ЗВУК И ЕГО ХАРАКТЕРИСТИКИ

Урок-практикум

На чешуе жестяной рыбы
Прочел я звуки новых губ.
А Вы ноктюрн сыграть смогли бы
На флейтах водосточных труб?

В. Маяковский

?

Каким бывает звук? Какими параметрами характеризуется музыкальный звук? Как связаны характеристики звука с параметрами волны?

Из ***старого*** *портфеля* Механические колебания и волны. Звук (Физика, 7—9 кл.).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ Определить, какими параметрами можно охарактеризовать звук; научиться изображать различные звуки в виде графика волны.

ПЛАН РАБОТЫ Последовательно выполняя задания, изучите основные характеристики звука.

Микеланджело да Караваджо. Лютнист

Что имел в виду поэт, написавший стихотворение, отрывок из которого приведен в качестве эпиграфа, по-видимому, знал лишь он сам. Попробуем серьезно 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 представляете, 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 высоте характеристику монохроматической волны.

ПОДСКАЗКА

Звуку «ля» первой октавы соответствует частота 440 Гц, звуку «до» первой октавы — частота 261,63 Гц.

Человеческое ухо воспринимает звук с частотами приблизительно 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 на частотах 4—8 Гц, человек ощущает перемещение внутренних органов, а при частотах 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 отраженному звуку.

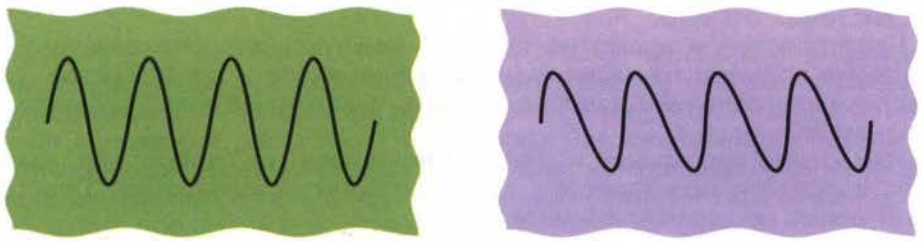
3. В музыке одна и та же нота используется для нескольких различных звуков; при этом к названию ноты добавляется название октавы. Оказывается, что частоты звуков, различающихся на октаву, различаются в два раза. Изобразите на нотном стане звуки «ля» первой и второй октав и нарисуйте графики соответствующих 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.

Оказывается, что 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). В таблице приведена громкость различных звуков.

Звук	Громкость, Б	Амплитуда волны давления, Н/м^2
Нижний предел чувствительности человеческого уха	0	0,00002
Шепот и шорох листьев	1	0,000065
Тихий сад	2	0,0002
Скрипка пианиссимо	3	0,00065
Шаги, тихая музыка	4	0,002
Шум в ресторане	5	0,0065
Разговор, шум в магазине	6	0,02
Громкая речь, шум автомобиля	7	0,065
Шум мотора грузового автомобиля	8	0,2
Шумная улица, гудок автомобиля	9	0,65
Фортиссимо оркестра, сирена	10	2
Пневматический молот	11	6,5
Реактивный двигатель, гром	12	20
Болевой порог	13	65

5. Музыкальные звуки различаются тембром. На рисунке 68, *а* изображена волна, соответствующая чистой ноте «ля» первой октавы (440 Гц), на рисунке 68, *б* — волна, получающаяся при сложении пяти нот с частотами 440 Гц, 2·440 Гц, 3·440 Гц, 4·440 Гц и 5·440 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*

Рис. 68
Монохроматическая волна (*а*) и сумма монохроматических волн с кратными частотами (*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 плейера дают максимальную громкость до 100—110 дБ. Не слушайте в течение длительного времени музыку при максимальной мощности в наушниках!

59 ДВИЖЕНИЕ, ПРОСТРАНСТВО, ВРЕМЯ, 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? Какая теория изменила наши взгляды на пространство, время и материю? Что означает взаимосвязь пространства и времени и как она проявляется на опыте? Что означает влияние материальных тел на пространство и время и в каких опытах это проявляется?

Ключевые слова Эфир • Теория относительности • Четырехмерное пространство-время

Из старого портфеля Относительность движения. Скорость. Ускорение. Системы отсчета (Физика, 7—9 кл.).

КЛАССИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПРОСТРАНСТВА, ВРЕМЕНИ И МАТЕРИИ. Вспомним основные свойства пространства и времени:

1. Мы живем в трехмерном пространстве. Это означает, что положение любой точки в некоторой выбранной системе отсчета можно задать тремя числами — координатами. Координаты точки зависят от выбора системы отсчета, но расстояния между двумя любыми точками одинаковы во всех системах отсчета.

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 эти свойства, 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 эти фундаментальные понятия оказались взаимосвязанными. Новая теория оказалась 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 ученых на пространство, время и материю, вполне возможно.

В КАКОЙ СИСТЕМЕ ОТСЧЕТА ИЗМЕРЯТЬ СКОРОСТЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН? Зависит ли скорость волны от выбора системы отсчета? Опыт, касающийся 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 приемника звука относительно воздуха.

В результате развития теории электромагнетизма английским ученым Максвеллом было предсказано существование электромагнитных волн и вычислена скорость их распространения. Эта скорость (около 300 000 км/с) оказалась близка к скорости света, из 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 отсчета движутся со скоростями, много меньшими скорости света. Поэтому изменение скорости света при переходе из одной системы отсчета в другую ожидалось настолько малым, что экспериментальной точности не хватало для того, чтобы обнаружить это изменение. Даже Земля движется вокруг Солнца со скоростью, равной 1/10 000 от 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 некоторой субстанции, которую назвали **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. При помощи очень сложной установки, основанной на свойствах интерференции света, ученые 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 оказывалось равной постоянной величине. Этот факт полностью противоречил классическим взглядам на свойства пространства и времени. Именно постоянство скорости света в любой системе отсчета было взято Эйнштейном за основу его теории.

Опыт свидетельствует, что скорость света постоянна во всех системах отсчета, что 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 отсчета производят измерения. При переходе из одной системы отсчета в другую временные (время между двумя событиями) и пространственные интервалы изменяются. Причем, 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 **четырехмерном пространстве-времени**.

Удлинение временных интервалов и сокращение расстояний оказываются пропорциональны коэффициенту $\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$, где v — скорость системы отсчета, а c — скорость света. В любых доступных человеку системах отсчета 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.

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 отсчета, в которой производятся измерения.

В ***новый*** *портфель*

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.

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 еще не было), Эйнштейн взял за основу постулат, что никакими опытами, проведенными внутри некоторой системы отсчета, нельзя определить, чем вызвана сила тяжести (отсутствие силы тяжести) — гравитацией или движением системы отсчета с ускорением. Этот постулат был назван принципом эквивалентности и лег 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 обусловливает искривление лучей света, проходящих вблизи тяготеющего тела (рис. 69).

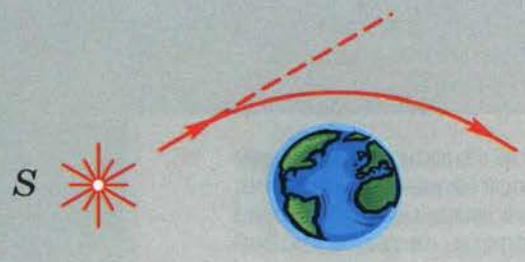


Рис. 69
Искривление луча света вблизи тяготеющего тела

Подобное искривление траектории было обнаружено при астрономических наблюдениях прохождения луча света от звезды вблизи Солнца во время затмения Солнца в 1919 г.

??

▷ Противоречит ли теория относительности научным положениям, развитым до появления этой новой теории?

▶ В чем проявляется взаимосвязь пространства, времени и материи?

Материя, пространство и время взаимосвязаны. Материальные объекты искривляют пространство, в котором они находятся, и замедляют ход времени вблизи них.

В ***новый*** *портфель*

60 ДВИЖЕНИЕ ТЕПЛА

Урок-лекция

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) ее перехода из одного состояния в другое? Достаточно ли только закона сохранения энергии для описания возможных самопроизвольных процессов в изолированных системах.

Ключевые слова Идеальный газ • Адиабатный процесс • Теплота • Работа • Внутренняя энергия • Первый закон (первое начало) термодинамики • Функции состояния системы • Энтропия и второй закон (второе начало) термодинамики

Из старого портфеля Молекулярно-кинетическая теория. Термодинамика (Физика, 7—9 кл.; Химия, 8 кл.).

ПЕРВЫЙ ЗАКОН (ПЕРВОЕ НАЧАЛО) ТЕРМОДИНАМИКИ. Представим, что мы изучаем систему материальных тел (это может быть совокупность каких-то предметов — тетрадь, ручка, сумка и т. д., или молекулы газа, или раствор, словом, что угодно). Эта система тел отделена от окружающего мира некоторой оболочкой, воображаемой или действительной (скажем, газ или раствор в стеклянном сосуде, вещи в рюкзаке и т. д.). Примером может служить система «идеальный газ в цилиндре с поршнем» (рис. 70).

Допустим, что на газ оказано внешнее воздействие. К примеру, кто-то сдвинул поршень влево или вправо. Ясно, что количество газа при этом не изменилось, а вот его объем 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. В этом случае система теряет или приобретает некоторое количество теплоты ($\triangle Q$) вследствие того, что ее нагрели, или охладили, или оказали на нее механическое воздействие и т. д.

Теплоперенос невозможен, если система изолирована в тепловом отношении (тогда она не может обмениваться теплотой с внешним миром и $\triangle Q = 0$). Процессы, которые происходят в такой системе, называют адиабатными.

Бывает и иная форма отклика системы на внешнее воздействие — это так называемые рабочие действия, или работа. Скажем, система может совершать различные действия: механические (газ, расширяясь, двигает поршень, поднимает груз, вращает колесо и т. д.), электрические (между системой, допустим батарейкой, и внешней средой идет электрический ток) или какие-либо иные. Обозначим общее количество работы (любого вида) через A.

Движение поезда

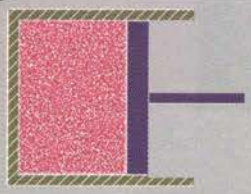


Рис. 70
Идеальный газ в цилиндре с поршнем

Рассмотрим теперь конкретный случай. Система совершает работу над внешними телами. К примеру, газ, расширяясь, двигает поршень. Кроме того, допустим, что при этом система получает тепло из внешней среды (мы нагреваем цилиндр с газом), т. е. $Q > 0$.

В результате этих процессов (теплоперенос плюс работа) изменяется внутренняя энергия системы на величину ΔU. (Вспомните, что такое внутренняя энергия тела U.) 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 мы можем записать

$$\Delta U = \Delta Q - A. \qquad (1)$$

В отличие от закона сохранения энергии в механике в уравнении (1) фигурирует величина ΔQ. Изучение движения и превращения внутренней энергии составляет предмет **термодинамики**, а уравнение (1) представляет собой математическую запись так называемого **первого закона (первого начала) термодинамики**.

Величина ΔU (в отличие от ΔQ и A) обладает одним важным свойством: если система переходит из одного (начального) состояния в другое (конечное), то изменение ее внутренней энергии ΔU не зависит от пути, по которому совершился этот переход, т. е. величина ΔU не зависит от того, с помощью каких именно процессов (из числа возможных) система перешла из начального в конечное состояние. Значение величины ΔU определяется только начальным и конечным состояниями. Величины, которые, подобно U, обладают указанным 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 не происходят. Например, тепло всегда переходит от более горячего тела к более холодному. Следовательно, есть еще один термодинамический закон, который разрешает одни самопроизвольные процессы, не противоречащие первому закону, и запрещает другие. Этот закон (его называют **вторым законом (вторым началом) термодинамики**) имеет несколько формулировок.

Пусть два соприкасающихся тела A и B полностью изолированы от внешней среды. Но между самими телами идет передача тепла от тела A к телу B, поскольку $T_A > T_B$ (ситуация утюг — брюки).

Введем для каждого тела величину $\Delta S = \Delta Q/T$, где T — температура тела, а ΔQ — тепло, полученное телом. Если тело не получает, а отдает 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 передается 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 отдало телу B некое количество теплоты, а затем такое же количество теплоты получило назад, имеет место равенство $\Delta S = 0$.

В термодинамике вводится функция состояния S, изменение которой определяется величиной ΔS. При этом для обратимого (равновесного) процесса, протекающего в изолированной системе, $S = 0$, тогда как для необратимого (неравновесного) процесса в такой системе $S > 0$.

Эту функцию состояния, которая не убывает в любых процессах, происходящих в изолированных системах, немецкий физик Рудольф Клаузиус назвал **энтропией**. Итак, 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 есть мера хаотичности, неупорядоченности системы. Сравним, к примеру, три объекта: лед, 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 твердое 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.

ОБРАЗ ЖИЗНИ Как вы знаете из курса физики, скорость движения тепла, или, точнее, количества тепла, протекающего в единицу времени, определяется теплопроводностью, которая существенно различна для разных веществ. Именно поэтому прикосновение к металлическим предметам на морозе или, наоборот, в сауне воспринимается болезненно. Именно поэтому не рекомендуется сидеть на металлических предметах, камнях, бетоне.

??

- 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?

61 СТАТИСТИКА ПОРЯДКА И ХАОСА

Урок-лекция

Существует три вида лжи: просто ложь, наглая ложь и статистика.

Б. Дизраэли

? Что такое необратимые процессы и как они связаны с движением тепла? Почему динамическое описание (описание, основанное на законах динамики) неприменимо для системы с большим числом частиц? В чем заключается статистическое описание? Как при помощи статистического описания объясняется природа необратимых процессов?

Ключевые слова Необратимое движение • Математическая статистика • Вероятность • Средние значения

Из старого портфеля Закон сохранения механической энергии. Давление. Строение вещества. Тепловое движение атомов и молекул. Модели строения газов, жидкостей и твердых тел. Температура. Связь температуры со скоростью хаотического движения частиц (Физика, 7—9 кл.). Количество вещества, моль — единица количества вещества. Молярная масса. Молярный объем (Химия, 7—9 кл.).

НЕОБРАТИМЫЙ ХАРАКТЕР ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. В предыдущем параграфе говорилось о качественном отличии процессов движения тепла от механических движений: процессы теплопередачи всегда протекают в одном направлении — от горячего тела к холодному. Такое однонаправленное движение называют **необратимым движением.** Необратимость процессов означает, что процессы, обратные во времени, в природе не наблюдаются. Многие механические процессы имеют обратимый характер. Если вы заснимете на кинопленку движение электрички или колебания маятника, а затем прокрутите пленку в обратном направлении, то увидите вполне нормальное движение.

Микеланджело да Караваджо. Шулера (Игроки в карты)

Игра в карты подчинена вероятностным закономерностям, но если игроки жульничают, то исход может быть предопределен.

Правда, и для механических процессов обратимость не совсем полная. Если колебания маятника снимать в течение длительного времени, то при обратном движении кинопленки можно заметить, что амплитуда колебаний непрерывно возрастает, чего в природе не наблюдается. А если прокрутить в обратном направлении процесс спуска горнолыжника, то вы сразу же увидите нереальный процесс.

Вспомнив курс физики, вы легко поймете, что в необратимых механических процессах механическая энергия не сохраняется и переходит в тепло. Можно сделать вывод (и это можно строго доказать), что все механические необратимые процессы связаны с преобразованием механической энергии в тепло. Другой пример необратимого процесса — расширение

газа в пустоту. Открыв баллон со сжатым газом, вы выпустите газ наружу. Обратный процесс, при котором газ, самопроизвольно сжимаясь, заполняет баллон, в природе не наблюдается.

Многие процессы в природе, в частности термодинамические, носят необратимый характер, т. е. обратных процессов в природе не наблюдается.

В новый портфель

ТЕПЛО КАК РЕЗУЛЬТАТ ДВИЖЕНИЯ МНОЖЕСТВА МИКРОЧАСТИЦ. Из курса физики вы знаете, что тепло связано с движением атомов и молекул в веществе, а абсолютная температура тела пропорциональна средней кинетической энергии частиц, составляющих вещество.

Но движение частиц подчиняется механическим законам. Следовательно, изучая механическое движение составляющих вещество частиц, можно понять причину необратимости термодинамических процессов.

Однако на этом пути возникают непреодолимые трудности. Вспомните химию, понятие 1 моль, число частиц в 1 моль газа и объем, занимаемый газом в количестве вещества 1 моль. Обычная трехлитровая банка содержит примерно 10^{23} молекул газа. Это огромное число! Написать столько уравнений и тем более решить их — нереальная задача. Но, самое главное, для практических целей это и не нужно. Все измеряемые нашими приборами параметры выражаются через некоторые средние значения, характеризующие движение частицы. Для вычисления средних значений большого числа объектов, составляющих систему, был разработан специальный раздел математики — **математическая статистика**.

Динамическое описание, основанное на законах Ньютона, неприменимо для макроскопической системы, состоящей из большого числа частиц. Чтобы объяснить качественные особенности (в частности, необратимость) термодинамических процессов, необходимо перейти к статистическому описанию.

В новый портфель

ОСНОВЫ СТАТИСТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ. Статистическое описание основано на понятиях **вероятность** и **средние значения** параметров, характеризующих объекты, составляющие систему. Вместо того чтобы прослеживать движение каждой молекулы, т. е. определять ее координаты и скорости в каждый момент времени, определяется вероятность того, что молекула при своем движении попадает в какую-то область пространства и имеет скорость, имеющую значение в заданном интервале.

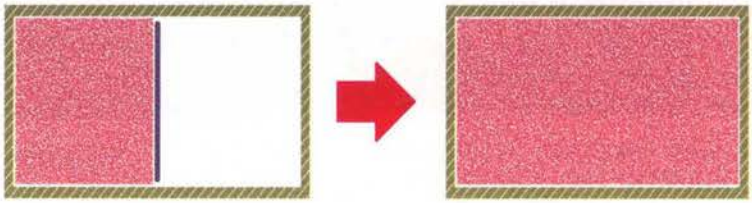
Знание таких вероятностей позволяет по определенным математическим правилам вычислить средние значения макроскопических характеристик (температура, давление и др.) макроскопической системы.

Статистические методы описания системы с большим числом частиц основаны на понятии «вероятность» и вычислениях на основе знания вероятностей средних значений различных величин, характеризующих систему.

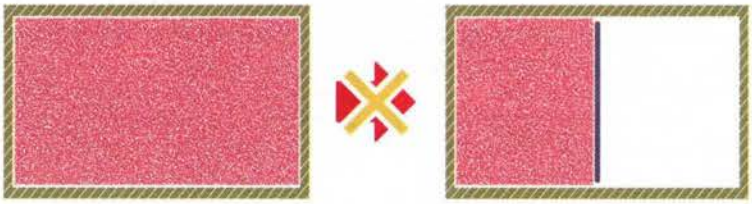
В новый портфель

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ПРИРОДА НЕОБРАТИМОСТИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ. Именно статистические методы, а не динамическое описание позволили выяснить природу необратимости термодинамических процессов. Мы дадим объяснение этому на частном примере — расширение газа в пустоту. Предположим, что закрытый сосуд разделен перегородкой на две половины, в одной из которых находится газ, а в другой — вакуум. Очевидно, что если открыть перегородку, то газ заполнит весь сосуд. Это необратимый процесс, обратного процесса в природе не наблюдается (рис. 71).

Чтобы объяснить необратимость, подсчитаем вероятность того, что при хаотическом движении молекул по всему сосуду все они в какой-то момент соберутся в одной (для определенности — в левой) половине сосу-



а



б

Рис. 71
Процессы в сосуде с газом: наблюдаемый (*а*) и ненаблюдаемый (*б*)

да. Для этого будем мысленно увеличивать число молекул в газе, начиная с одной молекулы.

Для одной молекулы все очевидно. Поскольку при хаотическом движении она может попасть либо в левую, либо в правую половину сосуда, то вероятность оказаться в левой половине равна 1/2. Для двух молекул несколько сложнее. Существует четыре возможных варианта размещения молекул по половинам сосуда (рис. 72).

И только один вариант нас интересует. В соответствии с правилом вычисления вероятности вероятность того, что две молекулы при хаотическом движении окажутся в левой половине сосуда, равна 1/4. Дальнейшие вычисления предлагаем желающим проделать самостоятельно. Для трех молекул вы при правильном вычислении должны получить 1/8, а для N молекул — $1/2^N$.

При больших N значение $1/2^N$ оказывается очень малым, т. е. вероятность попадания молекул в одну половину сосуда становится крайне малой. Предположим, что вы можете фотографировать молекулы, блуждающие по сосуду, делая снимки в случайные моменты времени. Тогда в среднем только на одном из 2^N снимков вы увидите, что они находятся в левой половине сосуда. Уже при $N = 50$ вы в среднем должны сделать

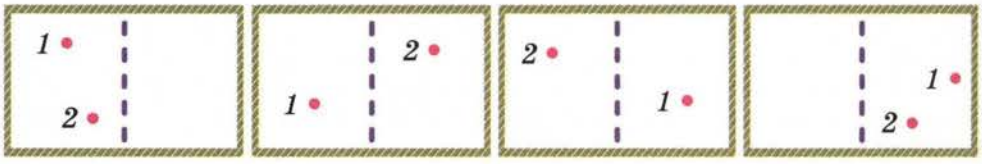


Рис. 72
Способы размещения двух молекул в сосуде с газом

10^{15} (тысячу триллионов!) снимков, чтобы получить один, на котором все молекулы соберутся в одной половине сосуда. Даже если вы используете скоростную кинокамеру, вам потребуется на это десятки миллиардов лет! Но ведь в реальном макроскопическом объеме не 50, а порядка 10^{23} молекул. Вероятность $1/2^{50}$ настолько мала, что эти значения даже нельзя сопоставить с чем-то реальным. Эти подсчеты позволяют сделать вывод о том, что необратимость связана с тем, что обратные процессы маловероятны.

Необратимость термодинамических процессов объясняется тем, что процессы, обратные по отношению к реальным, крайне маловероятны и потому в природе не наблюдаются.

В ***новый*** *портфель*

Мы начали параграф с высказывания Дизраэли, однако использовали статистику для объяснения явления необратимости термодинамических процессов. Но часто статистику используют таким образом, что вольно или невольно вводят в заблуждение или просто обманывают тех, кому она адресована. Прочтите шутку о статистике, а затем рубрику «ОБРАЗ ЖИЗНИ».

С огурцами связаны все главные телесные недуги и все вообще людские несчастья, о чем явно говорит статистика.

1. Практически все люди, страдающие хроническими заболеваниями, ели огурцы.
2. 99,9% всех людей, умерших от рака ели огурцы.
3. 100% всех солдат ели огурцы.
4. 99,7% всех лиц, ставших жертвами автомобильных и авиационных катастроф, употребляли огурцы в пищу в течение двух недель, предшествующих фатальному несчастному случаю.
5. 99,1% всех малолетних преступников происходят из семей, где огурцы употребляли постоянно.

Еще более убедителен результат, полученный известным коллективом ученых-медиков: морские свинки, которым принудительно скармливали по 20 фунтов огурцов в день в течение месяца, потеряли всякий аппетит!

Единственный способ избежать вредного воздействия огурцов — изменить диету. Ешьте, например, суп из болотных орхидей. От него, как следует из статистических данных, еще никто не умирал.

(С сокращениями и незначительными изменениями из книги «Физики шутят».)

ОБРАЗ ЖИЗНИ Когда вы читаете, что каждая вторая снятая с бутылки «нечто-колы» этикетка приносит выигрыши, в числе которых есть автомобиль (вероятность выигрыша 50%), вы должны задуматься. Скорее всего, вы выиграете нечто вроде пластикового стаканчика с эмблемой фирмы, стоимость которого такая же, насколько подорожала бутылка. Вероятность выигрыша автомобиля если и отлична от нуля, то крайне мала.

Когда вам предлагают вложить деньги в фирму, утверждая, что статистика говорит о прибыли на вложенные деньги 50%, вспомните основы экономики и задумайтесь, откуда берутся деньги.

??

- ▷ Почему для системы, состоящей из большого числа частиц, неприменимо динамическое описание?
- ▶ Как при помощи вероятности объяснить необратимость процесса диффузии газов?

62 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 чем его смысл? Каков механизм действия катализатора? Что такое ингибиторы?

Ключевые слова Скорость и 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.). Выветривание (География, 6—7 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).

Гравюра. Алхимики

В XIX в. было установлено, что химические реакции в подавляющем большинстве представляют собой многостадийные процессы, т. е. совершаются не путем непосредственного одновременного столкновения частиц реагентов с образованием продуктов, а через ряд простых (элементарных) процессов. Действительно, если бы, к примеру, реакция окисления аммиака

$$4NH_{3(г)} + 3O_{2(г)} = 2N_{2(г)} + 6H_2O_{(г)}$$

шла в одну стадию, то это потребовало бы огромных затрат энергии на одновременный разрыв связей в молекулах аммиака и кислорода. Кроме того, вероятность столкновения трех частиц очень мала, четырех — практически

равна нулю. Одновременное же столкновение семи частиц (четырех молекул аммиака и трех 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 возбужденное состояние (или, наоборот, переход ее из возбужденного в основное или низковозбужденное состояние).

Даже простая на первый взгляд реакция

$$H_2 + Br_{2(г)} = 2HBr_{(г)}$$

идет по стадиям, причем каждая стадия протекает со своей скоростью.

1-я стадия (быстрая):

$$Br_2 \rightarrow Br\cdot + Br\cdot,$$

2-я стадия (относительно медленная):

$$Br\cdot + H_2 \rightarrow HBr + H\cdot \text{ и т. д.}$$

Вспомните, какие частицы называют радикалами. Какие реакции называют цепными и что такое энергия активации?

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 ее стадий) от концентраций реагирующих веществ. Такую зависимость называют **кинетическим уравнением**. Для гипотетической реакции $aA + bB = dD + eE$ математическое выражение (кинетическое уравнение) имеет вид

$$\upsilon = k \cdot c_A^a \cdot c_B^b,$$

где υ — 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:

$$Br_2 \rightarrow Br\cdot + Br\cdot \qquad \upsilon_1 = k_1 c\ (Br_2)$$
$$Br\cdot + H_2 \rightarrow HBr + H \qquad \upsilon_2 = k_2 c\ (Br\cdot)\ c(H_2)$$

Скорость же суммарной реакции может различным, иногда весьма сложным образом зависеть от концентрации реагентов.

Таким образом, превращение одних веществ в другие — это не одномоментное событие, а процесс, развертывающийся 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 изменение положений атомов в пространстве по мере протекания 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 физикохимиком Якобом Вант-Гоффом и шведским ученым Сванте Аррениусом.

КАТАЛИЗ. Уже давно было замечено, что некоторые вещества способны заметно увеличивать скорость химической реакции, хотя сами при этом не изменяют свой химический состав. Такие вещества называют **катализаторами**. Например, пероксид водорода при комнатной температуре разлагается медленно: $2H_2O_2 = 2H_2O + O_2$. 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 само уравнение реакции его не включает.

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 определенные типы реакций, а в ряде случаев только отдельные реакции. Такая особенность катализаторов называется селективностью (избирательностью). Селективность действия катализаторов позволяет получать лишь определенный нужный продукт определенным образом: «направить» действие лекарства и т. п. 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.

??

- ▷ От каких причин зависят скорости химических реакций?
- ▶ Может ли скорость какой-нибудь реакции быть пропорциональна квадрату концентрации какого-либо вещества? Если да, то приведите примеры.
- ▶ Предложите гипотезу, объясняющую, почему в отличие от катализаторов ингибиторы расходуются в ходе реакции.

Движение — это не только механическое перемещение. Под движением понимают также любое изменение, происходящее в окружающем нас мире, например любую химическую реакцию, т. е. процесс превращения одних веществ в другие.

В ***новый*** *портфель*

63 СКОРОСТИ ХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

Урок-практикум

Без открытия точных законов протекания реакций нельзя ждать дальнейших успехов в теории нашей науки.

Д. И. Менделеев

?

Химические реакции происходят мгновенно или же с определенной скоростью? Является ли скорость химической реакции некой постоянной величиной, или же она зависит от природы реагирующих веществ? Зависит ли скорость химической реакции от концентрации 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 ее скорость?

Из старого портфеля Химическая кинетика и катализ (Химия, 8—9 кл.).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ Установить факторы, от которых зависит скорость химических реакций.

ПЛАН РАБОТЫ Проведение опытов, указанных в заданиях, и формулировка выводов, следующих из данных опытов.
Если проведение ряда опытов в виде лабораторного или демонстрационного эксперимента окажется невозможным из-за отсутствия необходимых реактивов, можно воспользоваться мультимедийной демонстрацией.

Начнем с поиска ответов на первые два проблемных вопроса. Для этого проведем следующие опыты.

1. Проведение опыта по изучению взаимодействия сернистой и иодноватой кислот (реакция Ландольта).

ПОДСКАЗКА

$HIO_3 + 3H_2SO_3 = 3H_2SO_4 + HI$ (1)
$5HI + HIO_3 = 3I_2 + 3H_2O$ (2)
$I_2 + H_2SO_3 + H_2O = H_2SO_4 + 2HI$ (3)

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 крахмал.
Стакан (500—600 мл); два стакана (по 200—250 мл); две пипетки (по 25 мл); цилиндр (100 мл); метроном.
Выполнение опыта. На лист белой бумаги поставить большой стакан. В один из двух меньших стаканов налить 100 мл воды, точно отмерив объем с помощью мерного цилиндра. Во второй стакан поместить 90 мл воды и 10 мл 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. Взяв в руки оба стакана, быстро вылить их содержимое в большой стакан и начать отсчет ударов метронома. Через 10—15 ударов раствор становится синим.

Вы убедились, что иод, наличие которого устанавливается по синему окрашиванию прибавленного к смеси крахмала, появляется в растворе не сразу, а только после окисления всей сернистой кислоты. Какой вывод отсюда следует? Какая, по вашему мнению, реакция из приведенных выше идет быстрее других?

2. Проведение опыта по исследованию взаимодействия соли надсерной кислоты с иодидом калия.

ПОДСКАЗКА

Чтобы ответить на третий проблемный вопрос, проведем следующую реакцию:

$$K_2S_2O_8 + 2KI = 2K_2SO_4 + I_2$$

Реактивы и оборудование. Раствор А: 16,6 г иодида калия и 0,02—0,03 г $Na_2S_2O_3$ растворить в 500 мл воды и прибавить затем несколько миллилитров свежеприготовленного раствора крахмала. Раствор Б: 0,025 М раствор соли надсерной кислоты. Стаканы (3 шт.); измерительные цилиндры (2 шт.); 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. Слить содержимое цилиндров в первый стакан. Отсчитать удары метронома до появления синей окраски.

Затем во второй стакан слить таким же образом 150 мл раствора А и смесь, состоящую из 100 мл раствора Б и 50 мл воды. Включить метроном и отсчитать число ударов до появления синей окраски. В третий стакан слить 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 вывод из проведенного эксперимента.

3. Проведение опыта по исследованию окисления иодида калия азотной кислотой.

ПОДСКАЗКА

Теперь выясним, влияет ли и каким образом температура на скорость химических реакций. Для ответа на этот вопрос проведем следующую реакцию:

$$6KI + 8HNO_3 = 6KNO_3 + 3I_2 + 2NO + 4H_2O$$

Реактивы и оборудование. Растворы: KI (8—9 г соли на 100 мл воды), HNO_3 (1 : 2). Два стакана (400—500 мл); белый экран.

Выполнение опыта. В стаканы налить одинаковые количества (примерно по 100 мл) азотной кислоты. Один раствор оставить при комнатной температуре, другой нагреть примерно до 80—90 °С. Затем поставить стаканы рядом на фоне белого экрана и в каждый стакан прибавить по 40 мл

раствора KI. В одном стакане раствор приобретает желтую окраску. В другом стакане идет бурная реакция, он заполняется фиолетовыми парами.
Сделайте вывод о скорости протекания реакции.

4. Проведение опыта по исследованию каталитического окисления аммиака на поверхности оксида хрома.

ПОДСКАЗКА

Вам осталось ответить на последний вопрос, для этого обратимся к реакции окисления аммиака.
Реактивы и оборудование. Раствор NH_3 (конц.), Cr_2O_3 (в виде порошка). Большая колба (около 3 л); железная ложечка.
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 железную ложечку и сильно прокалить, а затем небольшими порциями сбрасывать в колбу. Каждая порция оксида дает красивый сноп искр. (Опыт проводить под тягой!)
Сделайте выводы из проведенного опыта.

Литература для дополнительного чтения

Леенсон И. А. Почему и как идут химические реакции / И. А. Леенсон. — М., 1994.

64 ДВИЖЕНИЕ В ЖИВОЙ ПРИРОДЕ

Урок-лекция

Монада, точка малая средь вод,
Без ног, без членов плавает, снует,
Там вибрион, как угорь вьется,
Живым мерцает колесом Сувойка,
А там играет формами Протей,
То шар, то куб, то будто червь иль змей.

Э. Дарвин

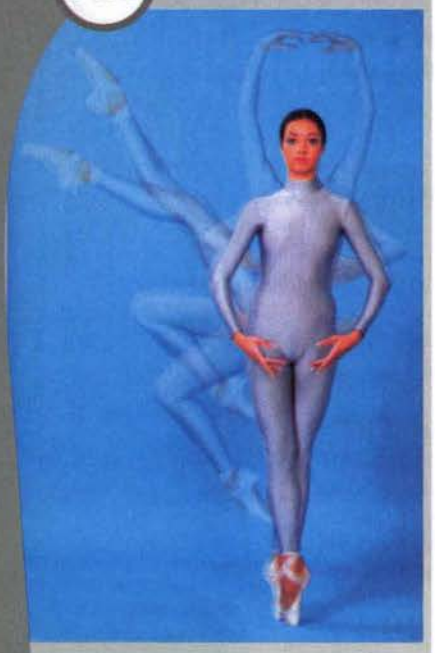
?

Какой механизм лежит в основе движения живых организмов? Как действуют биологические моторы? Как работают мышцы? Каков механизм движения отдельных клеток и одноклеточных организмов?

Ключевые слова Белки — молекулярные моторы • Актин • Миозин • АТФ • Миофибриллы

Из старого портфеля 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—9кл.). Ионы. Биологически важные вещества: жиры, углеводы, белки (Химия, 7—9 кл.).

МНОГООБРАЗИЕ ФОРМ ДВИЖЕНИЯ ЖИВОГО. Движение — одно из фундаментальных свойств живого. В повседневной жизни мы сталкиваемся в основном с движением, которое осуществляется благодаря работе



Раскадровка движения балерины

мышц; это и бег коня, и полет 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 амебы, 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 приведенных 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 организм. Каким же образом химические превращения способны вызвать 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, т. е. взаиморасположение отдельных составляющих молекулы. 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 прикрепить к какой-либо другой молекуле, при повороте она способна совершать механическую работу. Откуда берется энергия для такой работы? Энергию поставляет молекула АТФ — универсальный источник энергии клеток всех живых организмов.

Однако при движении головки относительное изменение длины молекулы миозина оказывается незначительным. Мышцы, созданные из таких молекул, могли бы сокращаться на единицы процентов (реальное сокращение мышц может доходить до 50%). И природа «исхитрилась» создать мотор, работающий по циклу, подобно тепловым двигателям, созданным человеком. Правда, произошло это за миллиарды лет до создания человеком тепловых двигателей. 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 изображен на рисунке 74.

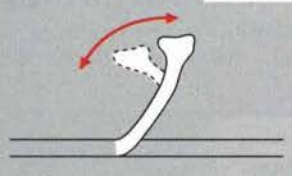


Рис. 73
Движение головки миозина

Следует отметить, что КПД такого двигателя (отношение совершенной механической работы к затраченной энергии) в несколько раз превосходит КПД тепловых двигателей, созданных человеком. Человек еще не достиг совершенства, имеющегося в природе; возможно, двигатели, подобные биологическим, будут изобретены в будущем.

Что же регулирует циклическую работу биологического двигателя? Под воздействием нервного импульса в цитоплазме

Биологические моторы основаны на взаимодействии двух типов молекул: молекулы, изменяющей форму, и перемещаемой молекулы. Эти молекулярные комплексы работают циклично и обусловливают практически все движения, которые наблюдаются в живой природе.

В ***новый*** *портфель*

увеличивается концентрация ионов Ca^{2+}. Они способствуют контакту актина с миозиновой головкой и соединению миозина с одной из составляющих молекулы АТФ (в определенном смысле действие ионов кальция подобно действию катализаторов при химической реакции). После того как миозиновая головка совершила очередное тянущее движение, концентрация ионов кальция уменьшается (см. рис. 74).

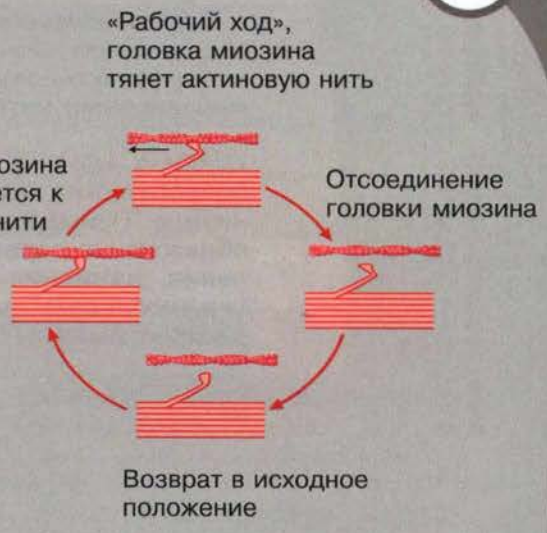


Рис. 74
Схема рабочего цикла актин-миозинового мотора

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.

Основу работы мышцы составляет работа множества элементарных актин-миозиновых биологических моторов.

В ***новый*** *портфель*

Схема работы отдельной сократимой единицы миофибриллы приведена на рисунке 76.

Рис. 75
Схема строения мышцы

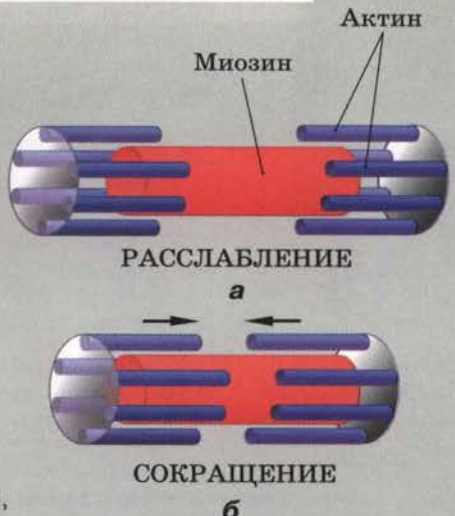


Рис. 76
Схема работы миофибриллы: расслабленное состояние (*а*), сокращенное состояние (*б*)

В расслабленном состоянии мышцы 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.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР БИОЛОГИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ. Описанные биологические моторы обусловливают 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), амебовидное движение — один из самых распространенных способов перемещения клеток.

Подобный способ движения характерен также для лейкоцитов — элементов крови человека и позвоночных животных — участвующих в иммунном ответе организма. Перемещаясь, как амебы, эти клетки скапливаются вокруг проникших в организм инородных объектов и нейтрализуют их вредное воздействие на организм.

Исследование амебоидного движения показало, что в прилежащем к наружной плазматической мембране амеб слое цитоплазмы имеется сеточка из нитей актина и миозина. Сокращение и расслабление этой сеточки фактически изменяет упругость наружной оболочки, в результате чего цитоплазма перетекает в область, где эта упругость меньше. В этой области образуется вырост — псевдоподия, которая закрепляется на окружающих амебу телах. Затем вещество амебы постепенно перекачивается в область, где закрепилась псевдоподия, после чего цикл повторяется.

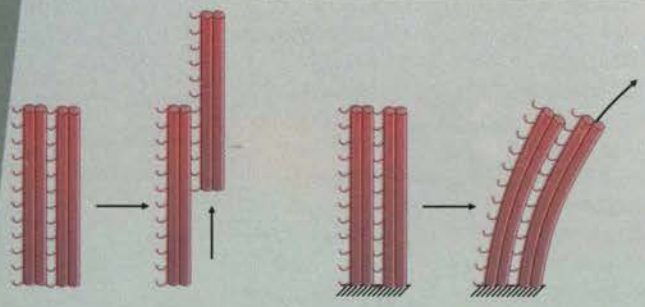
Движение при помощи жгутиков и ресничек чрезвычайно распространено среди одноклеточных организмов. Изгибаясь, жгутики и реснички совершают сложное движение. Движение жгутика напоминает движение гребного винта. Движение реснички напоминает движение рук человека, плывущего брассом: вначале следует прямой 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 (рис. 77).

Несмотря на огромное разнообразие форм движения живых существ, все они оказываются достаточно сходными и основанными на одних и тех же молекулярных механизмах.

В ***новый*** *портфель*

Цикл движения состоит в том, что ручки микротрубочки цепляются за соседнюю микротрубочку, затем, изгибаясь, подтягивают соседнюю микротрубочку, после чего, отцепляясь, возвращаются в исходное положение. 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.



Движение микротрубочек с незакрепленными концами

Изгиб микротрубочек, когда их нижние концы скреплены друг с другом

Рис. 77
Схема, иллюстрирующая механизм изгибания жгутиков и ресничек

ОБРАЗ ЖИЗНИ При протекании электрического тока через организм нарушается электролитный баланс (в частности, изменяется концентрация ионов Ca^{2+}). В связи с этим возможны судорожные сокращения мышц, чем, в частности, обусловлено поражающее действие электрического тока. Будьте внимательны при работе с электроустановками и электрическими бытовыми приборами. Соблюдайте инструкции и технику безопасности.

??

- ▷ Как осуществляется механическое движение в живой природе?
- ▷ Можно ли найти что-то общее в беге леопарда и ползании амебы? Если да, то что?
- ▶ За счет какого вида энергии совершается механическая работа при действии биологического мотора?

65 ДВИЖЕНИЕ КАК КАЧЕСТВЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ. ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

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?

Ключевые слова Радиоактивность и ее виды • Период полураспада • Изотопы • Ядерные реакции • Деление ядер

Из старого портфеля Строение атома (Физика, 7—9 кл. Химия, 8—9 кл.).

РАДИОАКТИВНОСТЬ И ЕЕ ВИД. 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 ученый Антуан Анри Беккерель (1852—1908) обнаружил, что урановая соль самопроизвольно испускает лучи, подобные тем, что несколькими месяцами раньше открыл немецкий физик Вильгельм Конрад Рентген (1845—1923).

«Эти лучи, — заявил Беккерель, — проходят через черную бумагу и засвечивают фотопластинку».

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 черную бумагу, в ящик стола. Через два дня ветер разогнал облака и можно было приступать к работе. Однако Беккерель решил (на всякий случай) проявить фотопластинки, пролежавшие два дня в ящике. К своему удивлению, он обнаружил на проявленной пластинке довольно четкие 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 черную бумагу и засвечивают фотопластинку.

Позже Беккерель установил, что чистый уран также испускает (и даже еще 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 $^{4}_{2}\mathrm{He}$, т. е. его массовое число равно 4, а заряд +2), например:

$$^{226}_{88}\mathrm{Ra} \rightarrow {}^{222}_{86}\mathrm{Rn} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

(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 легкую частицу, называемую антинейтрино ($^{1}_{0}n \rightarrow {}^{1}_{1}p + e^{-} + \tilde{\nu}$), например:

$$^{234}_{90}\mathrm{Th} \rightarrow {}^{234}_{91}\mathrm{Pa} + e^{-}$$

(далее вместо обозначения e^{-} мы будем использовать другое: β);

— γ-распад, когда возбужденное 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, которое часто (но не всегда) сопутствует α- и β-распаду, 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 $^{238}_{92}\mathrm{U}$ период полураспада составляет $4{,}5 \cdot 10^{9}$ лет; для изотопа $^{210}_{82}\mathrm{Pb}$ — $1{,}5 \cdot 10^{-4}$ с. Причем 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 некий начальный момент. 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:

$$^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{17}_{8}\mathrm{O} + {}^{1}_{1}p$$

Символ ${}^{1}_{1}p$ обозначает протон, т. е. ядро атома водорода (${}^{1}_{1}H$). 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. Еще более разнообразные ядерные реакции удалось исследовать с помощью ускорителей, где заряженные частицы (к примеру, 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.

Приведем несколько примеров ядерных реакций, вызываемых нейтронами:

$$^{23}_{11}Na + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{24}_{11}Na + \gamma$$
$$^{50}_{27}Co + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{66}_{27}Co + \gamma$$

Подобные реакции широко применяются для получения новых изотопов, хотя отделить, скажем, ^{25}Na от ^{24}Na нелегко. (Подумайте почему.)

$$^{35}_{17}Cl + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{35}_{16}S + {}^{1}_{1}p$$
$$^{27}_{13}Al + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{24}_{11}Na + {}^{4}_{2}He$$

Большой научный и практический интерес представляют реакции, вызываемые бомбардировкой нейтронами ядер $^{235}_{92}U$. В результате такой реакции образуется смесь изотопов с массовыми числами, равными приблизительно половине массового числа делящегося урана:

${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{236}_{92}U \rightarrow$ смесь изотопов ($^{92}_{36}Kr$, $^{141}_{56}Ba$ и др.) + 2 : 3 ${}^{1}_{0}n$ + + 200 МэВ/1 ядро.

Ядерный реактор оказался настоящей фабрикой радиоактивных изотопов.

Ядра изотопа $^{235}_{92}U$ могут захватывать нейтроны с небольшой энергией (5–10 эВ[1], так называемые тепловые нейтроны), а нейтроны, образующиеся при делении ядра $^{236}_{92}U$, обладают в миллионы раз большей энергией. Поэтому, чтобы реакция шла дальше за счет вылетающих при делении ядра нейтронов, последние надо замедлить. Тогда пойдет цепная реакция деления урана — выделившиеся нейтроны после замедления будут захватываться другими ядрами $^{235}_{92}U$ 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: $^{238}_{92}U$ (99,3%) и $^{235}_{92}U$ (0,7%), причем 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).

??

▷ 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?

[1] 500—1000 кДж/моль.

66 ФОРМЫ И ВИДЫ ДВИЖЕНИЯ

Урок-конференция

Вся жизнь — это великая цепь, природу которой можно понять из отдельного ее звена.

А. Конан Дойл

? Как взаимосвязаны между собой различные формы и виды движения? Какова связь различных видов движения и энергии? Какие 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., 2002.
2. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс; под ред. Я. А. Смородинского. — 4-е изд., испр. — М.: УРСС, 2004. — Вып. 1—3, 4.

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 «течет» 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

Слюсарев А. А. Биология / А. А. Слюсарев, С. Жукова. — Киев, 1987.

СООБЩЕНИЕ 3 Движение нервного импульса.

Источники информации

1. Маркин В. С. Физика нервного импульса /В. С. Маркин, Ю. А. Чизмаджаев. — М.: Знание, 1977.
2. Могилевский Б. М. Природа глазами физика / Б. М. Могилевский. — М.: УРСС, 2004.
3. Мэрион Дж. Б. Общая физика с биологическими примерами /Дж. Б. Мэрион. — М., 1986.

СООБЩЕНИЕ 4 Волны на поверхности воды.

При подготовке сообщения продумайте ответы на следующие вопросы:

1. В результате каких процессов зарождаются волны?
2. Как и в результате чего происходит качественное изменение волн?
3. Какие 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. Тарасов Л. В. Физика в природе /Л. В. Тарасов. — М., 2002.
2. Бутиков Е. И. Физика / Е. И. Бутиков, А. С. Кондратьев. — СПб., 2000.

Движение в сложных системах представляет собой совокупность различных форм движений, взаимосвязанных между собой. 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*

67 ТАЙНЫ ДВИЖЕНИЯ ЧЕРЕЗ ПРИЗМУ ИСКУССТВА

Урок-практикум

На свете много есть, о друг Горацио,
того, что неизвестно 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* Разнообразие видов движения.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ Показать роль и значение искусства как способа познания окружающего мира для расширения сферы естественно-научных представлений о различных видах движения.

Оборудование. Репродукции.

ПЛАН РАБОТЫ Последовательно выполняйте задания: рассматривайте изображения произведений, высказывайте и обсуждайте собственные впечатления, аргументируйте версии и гипотезы о специфике новых для вас видов движения. Сделайте 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 накатывающие волны, бегущие люди и т. п. Но иногда авторы как бы зашифровывают движение, предлагают зрителю загадки. Рассмотрите несколько живописных произведений (с. 204) и ответьте на вопросы.
1. Как вам кажется, что происходит на каждой картине? Объясните, что вы видите в произведениях такого, что помогает понять замысел автора.
2. Как вы считаете, есть ли между картинами что-то общее? А в чем различия?
3. Предложите свои названия произведениям. Обоснуйте выбор, сравните его с выбором товарищей.

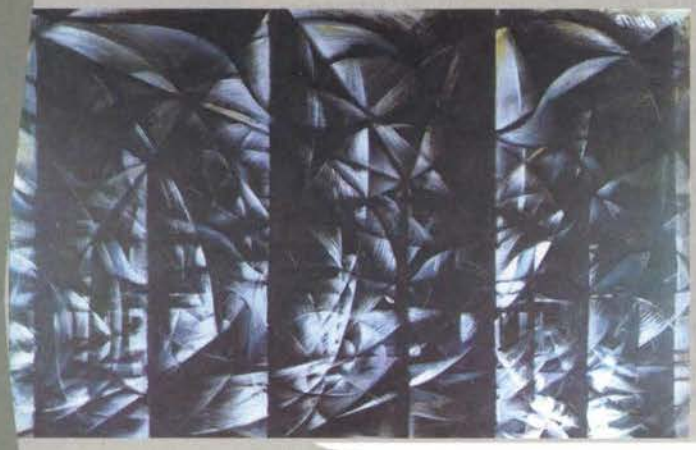
Оформление результатов
Придумайте и запишите в тетрадь название того вида движения, который вы обсуждали, рассматривая картины.

2. Изобразительное искусство дает представление и о таких видах движения, которые незаметны для глаза. Встречались ли вам живописные полотна, «героем» которых был звук? А может ли вообще статичная живопись передать динамичный звук?
1. Рассмотрите две картины (с. 205, вверху). Сравните изображения: есть ли нечто общее между ними? В чем, с вашей точки зрения, разница? Обоснуйте свое мнение.

Анри Матисс. Красные рыбы

Джакомо Балла. Движущийся автомобиль + скорость + шум

Наталья Гончарова. Велосипедист

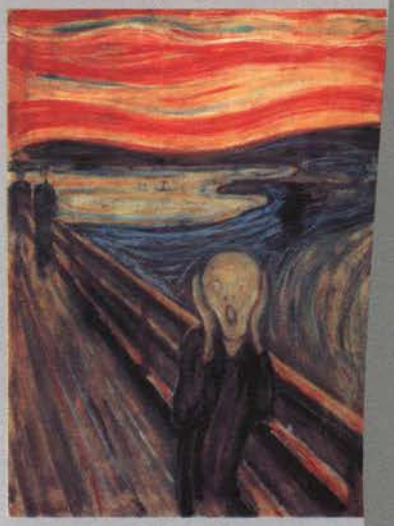


Анри Матисс. Музыка

Рауль Дюфи. Большой оркестр

2. Попробуйте «услышать» и описать словами (напеть) музыку, которую исполняют герои произведений А. Матисса и Р. Дюфи. 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 нее. А теперь попробуйте описать словами то, что вы услышали. Какие средства использовал художник для «изображения» звука?

Оформление результатов
Придумайте и запишите в тетрадь название вида движения, которое вы «услышали», рассматривая картины.



Эдвард Мунк. Крик

3. В этом задании вам предстоит познакомиться с еще одним видом необычного движения, но для этого необходимо рассмотреть иллюстрацию и обсудить возникшие версии.
1. Как вы считаете, что происходит на полотне В. Серова? Попытайтесь кратко пересказать сюжет.
2. Кто «герои» картины? Что вы увидели в произведении такого, что подсказало вам ответ?
3. А теперь попробуйте сделать вывод: о чем же это произведение? Что хотел сказать зрителю автор?

Оформление результатов
Придумайте и запишите в тетрадь название вида движения, которое показал в своем произведении В. А. Серов.

Валентин Серов. Девочка с персиками

4. Искусство — уникальный способ познания мира, дополняющий методы современной науки в постижении законов природы. Так, живопись открывает возмож-

Мартирос Сарьян. Три возраста. Автопортрет

ности 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 приемом? Что он хотел сказать зрителю? (Вспомните, что такое автопортрет.)
3. Прокомментируйте, почему авторы учебника поместили эту иллюстрацию в разделе о движении.
4. Вспомните произведения изобразительного искусства, которые вам доводилось видеть в музеях, альбомах по искусству, на CD или в Интернете. Как еще художник может показать этот же вид движения?

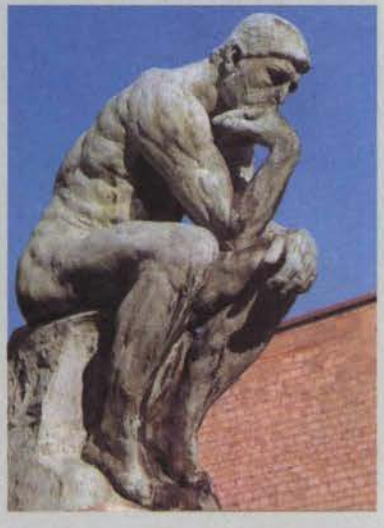
Оформление результатов

Придумайте и запишите в тетрадь название вида движения, которое помогла увидеть живопись М. Сарьяна.

Пабло Пикассо. Портрет Амбруаза Воллара

5. Еще один необычный вид движения помогут осознать два произведения выдающихся творцов искусства — живописца П. Пикассо и скульптора О. Родена, которые необходимо внимательно рассмотреть и сравнить.

1. Попробуйте понять замысел авторов и кратко сформулируйте ответ на вопрос: о чем эти произведения? Предположите, почему их поместили рядом.
2. Как вы считаете, какой вид движения запечатлел художник в своем произведении?



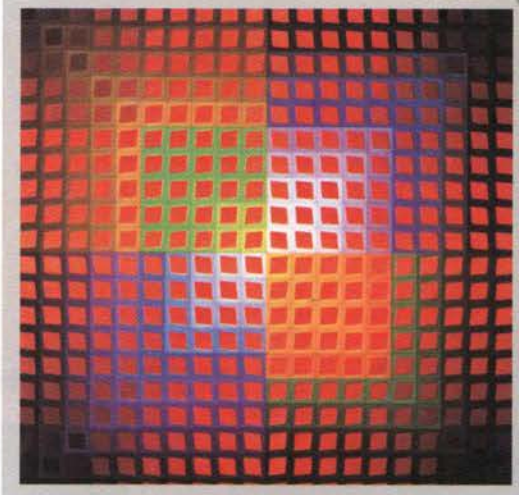
Огюст Роден. Мыслитель

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 чутьем на настоящее искусство. Портрет написан в кубистической манере — изображение строится из геометрических форм, размещенных 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 век: рука рабочего и лицо мыслителя. «Мой «Мыслитель» мыслит не только мозгом, насупленными бровями, раздувающимися ноздрями и сжатыми губами, но и 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.



Виктор Вазарели. Звуки II

6. Кроме «невидимого» движения, искусство помогает нам узнать о движении, которого вообще нет или которое не существует без зрителя.
1. Рассмотрите иллюстрацию картины, положив учебник на стол. Что вы видите? Что происходит на картине?
2. А теперь рассмотрите иллюстрацию, держа ее на расстоянии вытянутой руки на уровне глаз. Происходит ли теперь что-то с изображением?
3. Проделайте простой опыт: установите книгу вертикально и несколько раз медленно пройдите мимо изображения. Заметили ли вы еще 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.
6. Попробуйте объяснить, почему этот стиль живописи получил название «кинестетический». Вспомните, о чем говорится в разделе физики, который называется «Кинестетика».
7. Как вы считаете, в чем видели задачу своего творчества сторонники кинестетического искусства?

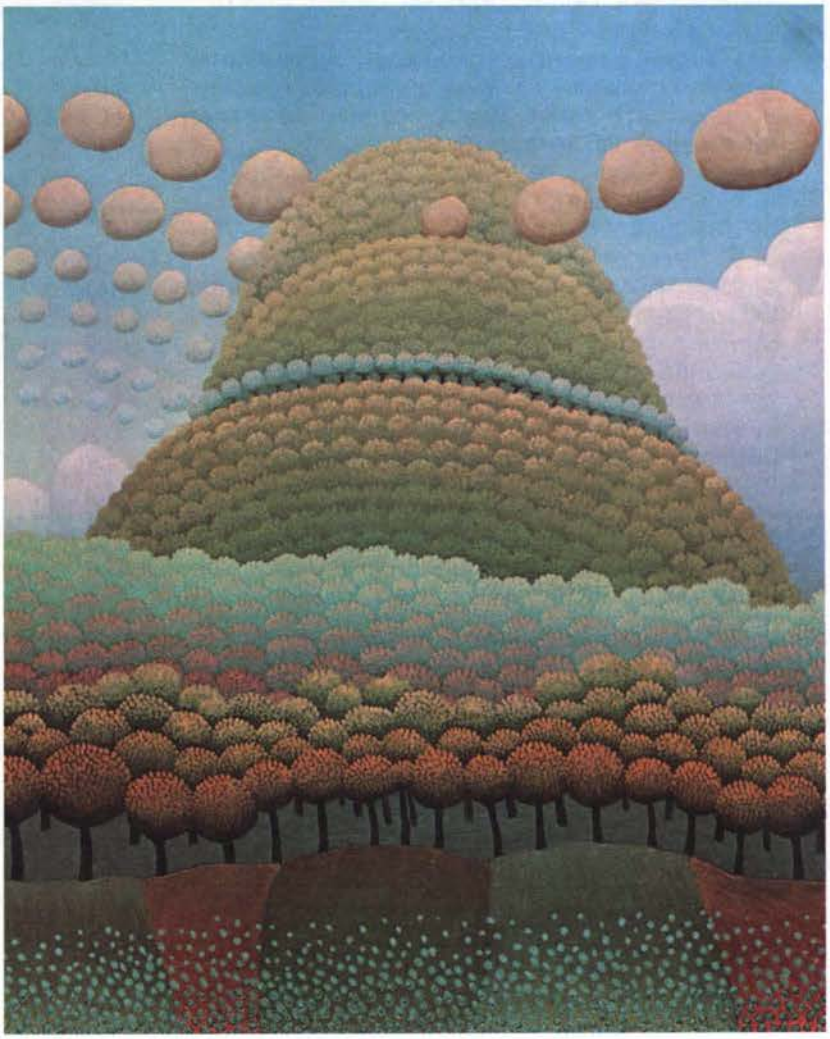
Оформление результатов
Придумайте и запишите в тетрадь название вида движения, с которым вы познакомились, рассматривая картину Вазарели.

Рассматривая произведения, созданные творцами искусства разных стран в разное время, вы еще раз убедились в многообразии движения, но, безусловно, смогли поговорить не обо всех видах, существующих в природе, точно так же как мы не исчерпали всех возможностей искусства, чтобы расширить наши представления о нем. Например, кино дает возможность поговорить о движении, которое также нельзя увидеть без специальных приборов. Возможно, что вы обратитесь к произведениям искусства, в которых слышите и чувствуете движение, в том числе такое, о котором не упоминает учебник.

Глава 5

ЭВОЛЮЦИОННАЯ КАРТИНА МИРА

ОБРАЗ И МЫСЛЬ



Иван Рабузин (род. 1919)
Рождение мира. Частное собрание

- Рассмотрите репродукцию картины. Какие образы, ассоциации раждаются у вас?
- Попробуйте рассказать о том, как представляет происхождение мира художник. А как представляете его вы? Сравните обе версии. В чем вы согласитесь с И. Рабузиным, а что различает ваши взгляды?
- Вернитесь к иллюстрации, с которой начиналась глава 1, и еще раз рассмотрите ее. Сравните две репродукции. Как вы думаете, почему авторы учебника поместили эти иллюстрации в начале и в конце учебника? Обоснуйте свое мнение и сравните его с мнениями одноклассников.

ПРЕАМБУЛА:

Если наблюдать за природой в течение жизни человека, может показаться, что природа остается неизменной, если не считать периодически повторяющихся сезонных изменений. Однако научные исследования показывают, что в природе существует однонаправленное движение, связанное с постоянным усложнением мира. Такое движение называют эволюцией.

Согласно современным естественно-научным представлениям, наша Вселенная существовала не вечно, а «родилась» около 14 млрд лет назад. С тех пор и до наших дней происходила постоянная эволюция, связанная с образованием все более сложных структур. И время, когда человек, результат такой эволюции, стал настолько разумным, что начал осознавать законы природы, на самом деле лишь крохотный миг в жизни Вселенной.

68 МЕЖДУ ПОРЯДКОМ И ХАОСОМ

Урок-лекция

Две опасности не перестанут угрожать миру: порядок и беспорядок.

П. Валери

? Какие процессы в макромире 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 мы познакомили вас с основными структурами материи, составляющими наш мир. Все эти структуры в конечном счете можно представить как совокупность некоторых «элементарных кирпичиков» материи: частиц вещества и частиц — переносчиков взаимодействия. Законы движения на уровне микромира в настоящее время достаточно хорошо изучены. Важным свойством этих законов на атомно-молекулярном уровне 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 движений во Вселенной, но на уровне макромира такой обратимости нет. В нашем мире время однонаправлено, и мы не можем вернуться в прошлое. Образно говоря, существует **стрела времени**.

Карл Брюллов. Последний день Помпеи

Поняв разрушимость сотворенного, ты узришь вечно неизменное.

Буддийская мудрость

Приведенное объяснение необратимости связано с хаотичностью движения микрочастиц. Она позволяет объяснить причину необратимости многих процессов, происходящих в природе.

Тепло всегда переходит от горячего тела к холодному, но не в обратном направлении. Если мы толкнем какое-либо тело, оно придет в движение, которое прекратится через некоторое время. Обратного процесса, когда покоящееся тело самопроизвольно начинает двигаться, в природе не наблюдают. 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 хао-

тическим. Вам уже известно, что мерой хаотичности является величина, называемая энтропией. Во всех перечисленных процессах энтропия возрастает.

Казалось бы, согласно закону возрастания энтропии наш мир постоянно стремится к хаосу, т. е. все более неупорядоченному состоянию. В соответствии с этим законом все структуры нашего мира должны постепенно разрушаться. В свое время Р. Клаузиусом была сформулирована гипотеза «тепловой смерти Вселенной», которая произойдет после перехода к полностью хаотическому состоянию. Однако наряду с процессами движения к хаосу и разрушению мы постоянно наблюдаем обратные процессы — процессы перехода от хаоса к порядку, процессы, казалось бы, противоречащие закону возрастания энтропии.

Закон возрастания энтропии, обусловленный вероятностным движением в системе многих частиц, объясняет временну́ю необратимость процессов в макромире.

В ***новый*** *портфель*

СИНЕРГЕТИКА — НАУКА О САМООРГАНИЗАЦИИ. Наиболее наглядными из таких процессов являются процессы, происходящие в живой природе. Подожженное 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.

Одним из создателей нового научного направления является нобелевский лауреат по физике Илья Пригожин, изучавший неравновесные процессы нелинейной термодинамики. На основе теоретических методов нелинейной термодинамики оформилась новая междисциплинарная область знаний, для которой физик Герман Хакен (один из ученых, исследующих процессы самоорганизации) предложил название «синергетика».

Процессы роста так же необратимы, как и процесс расширения газа. Однако природа необратимости уже не может быть объяснена переходом от порядка к хаосу. Именно поэтому на определенном этапе развития естественных наук сложилось представление, что биологические процессы не подчиняются физическим законам, более того, вообще не могут быть объяснены естественно-научными законами. Однако развитие естествознания в XX в. показало, что процессы возникновения и эволюции жизни все-таки могут быть объяснены при помощи естественно-научных законов.

Процессы, при которых происходит переход от неупорядоченного состояния к структурированному состоянию, были названы процессами **самоорганизации**. Возникла новая область научных исследований — **синергетика**.

Синергетика занимается выявлением общих закономерностей в процессах образования, устойчивости и разрушения упорядоченных временны́х и пространственных структур в неравновесных системах различной природы.

В ***новый*** *портфель*

Наука о самоорганизации возникла после того, как ученые выяснили, что процессы образования новых структур характерны не только для живой, но и для неживой природы. При этом процессы в неживой природе удается описать на математическом языке.

ОТ ХАОСА К ПОРЯДКУ И ОБРАТНО. Все процессы самоорганизации связаны общей закономерностью: под влиянием на некоторую систему неупорядоченного внешнего воздействия в этой системе возникают упоря-

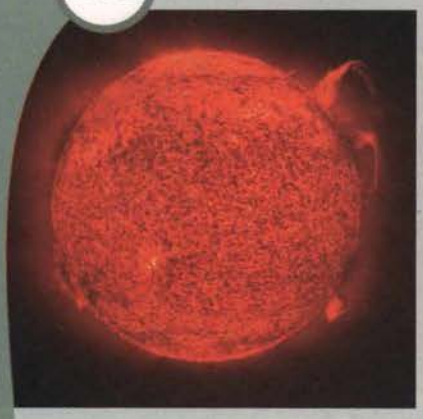


Рис. 78
Гранулы на Солнце

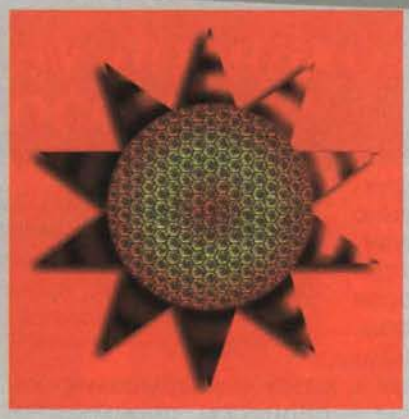


Рис. 79
Ячейки Бенара

доченные временны́е и пространственные структуры. Простейший пример — наша речь. Напрягая определенные мышцы и выдувая воздух, мы создаем 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). Другими примерами образования 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. 78).

Гранулы образуются в результате конвекции солнечного вещества и по виду похожи на соты. Однако гранулы непрерывно рождаются и умирают, проживая в среднем несколько минут. Искусственно образование такого рода структур было воспроизведено Полем Бенаром при нагреве некоторых жидкостей (например, ртути); соответствующие структуры были названы ячейками Бенара (рис. 79).

Еще одним примером являются протяженные вихри в атмосфере нашей планеты — циклоны и антициклоны (рис. 80).

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.

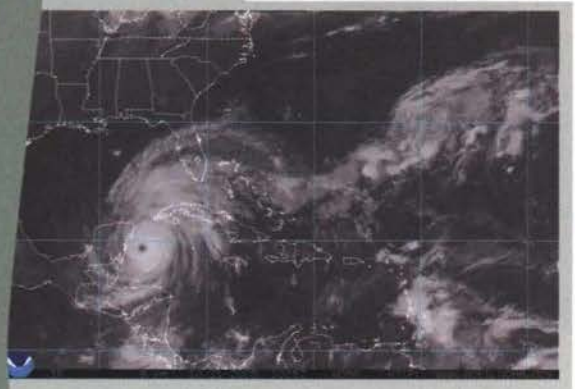


Рис. 80
Фотография циклона, сделанная с космического аппарата

Автоколебания возникают и при некоторых химических процессах. Классическим примером химической реакции этого типа является реакция Белоусова—Жаботинского — взаимодействие серной кислоты, малоновой кислоты, сульфата церия (Ce) и бромида калия. В процессе этой реакции ионы Ce^{4+}, находящиеся в растворе, периодически превращаются в ионы Ce^{3+}, и обратно. Внешне это проявляется в периодическом изменении цвета раствора. В зависимости от концентрации растворенных веществ период колебаний варьирует от 2 до 100 с.

Образование структур наблюдается и в мегамире (см. § 27).

О единстве законов самоорганизации можно судить по внешнему сходству циклонов и спиральных галактик (см. фотоснимки галактик, § 27).

??

- В чем сходство процессов самоорганизации в живой и неживой природе?
- Почему облака неравномерно распределены в атмосфере?
- Исследования показывают применимость законов самоорганизации для общества. Можете ли вы привести подобные примеры общественных процессов?

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.

В ***новый*** *портфель*

69 САМООРГАНИЗАЦИЯ. ПРИЧИНЫ И УСЛОВИЯ

Урок-лекция

Жизнь создает порядок.
Порядок же бессилен создать жизнь.
А. де Сент-Экзюпери

?

Какими характерными свойствами обладают системы, способные к самоорганизации? Каков механизм самоорганизации?

Ключевые слова Открытые системы • Нелинейность • Флуктуации

Из ***старого*** *портфеля* Колебательный контур. Электромагнитные колебания. Виды теплопередачи: теплопроводность, конвекция (Физика, 7—9 кл.).

Из примеров, уже рассмотренных нами, видно, что не только «жизнь создает порядок», законы самоорганизации оказываются общими как для живой, так и для неживой природы. Однако каким же образом из бесструктурной субстанции самообразуются временны́е и пространственные упорядоченные структуры? Чтобы это понять, необходимо выяснить, что общего во всех системах, способных к самоорганизации.

СВОЙСТВА СИСТЕМ, СПОСОБНЫХ К САМООРГАНИЗАЦИИ. 1. Прежде всего следует ответить на вопрос, не противоречит ли возникновение порядка из хаоса закону возрастания энтропии, в соответствии с которым энтропия — мера беспорядка — непрерывно возрастает. Обратите внимание на то, что этот закон сформулирован для замкнутых систем, т. е. для систем, не взаимодействующих каким-либо образом с окружением. Все приведенные ранее примеры относятся к **открытым системам**, т. е. к системам, обменивающимся с окружением энергией и веществом.

Мориц Эшер. Предел — круг III

Понятно, что можно выделить замкнутую систему, в которой происходит самоорганизация. Например, представим себе изолированный от излучения звезд 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.

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.

В ***новый*** *портфель*

2. Второй отличительной особенностью систем, способных к самоорганизации, является неравновесное, неустойчивое состояние, в котором они находятся.

Так, внешнее воздействие — нагревание сосуда приводит к разнице температур в отдельных макроскопических областях жидкости, возникают так называемые ячейки Бенара (см. рис. 79).

Состояние системы, далекой 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.

Самоорганизация происходит в системах, состояние которых в данный момент существенно отличается от статистического равновесия.

В ***новый*** *портфель*

3. Еще 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 после усиления и преобразования в звук мы слышим.

Самоорганизация возможна лишь в системах с большим числом частиц, составляющих систему.

В ***новый*** *портфель*

4. 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.

Эволюция систем, способных к самоорганизации, описывается нелинейными уравнениями.

В ***новый*** *портфель*

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 временны́х структур. Однако аналогично объясняется и образование пространственных структур. Рассмотрим простейший пример с образованием ячеек Бенара.

При нагревании жидкости возникает перепад температур между нижними и верхними слоями жидкости. Нагреваемая жидкость расширяется, ее 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 определенного порога (определенной разности температур между верхними и нижними слоями) бесструктурное состояние жидкости становится неустойчивым, флуктуации разрастаются и в жидкости образуются цилиндрические ячейки. В центральной области цилиндра жидкость поднимается, а вблизи вертикальных граней — опускается (рис. 81). 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 непростой задачей. Однако качественные особенности механизмов самоорганизации можно сформулировать достаточно просто.

Образование структур всегда связано со случайными процессами, поэтому при самоорганизации, как правило, происходит спонтанное понижение симметрии, а также имеют место **бифуркации**, т. е. неоднозначное развитие различных процессов. В точках бифуркации под воздействием незначительных факторов система выбирает один из нескольких возможных путей развития.

Рассмотрим биологический процесс — морфогенез. В качестве примера нарушения симметрии в живой природе, возникновение тканей и органов, создание всей сложной структуры организма в процессе его индивидуального развития. Так же как и в эволюции физических систем, в развитии зародыша возникают последовательные нарушения симметрии. Исходная яйцеклетка в первом приближении имеет форму шара. Эта симметрия сохраняется на стадии бластулы, когда клетки, возникающие в результате деления, еще не специализированы. Далее сферическая симметрия нарушается и сохраняется лишь аксиальная (цилиндрическая) симметрия. На стадии гаструлы нарушается и эта симметрия — образуется сагиттальная плоскость,

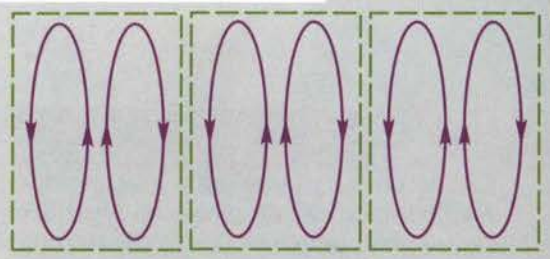


Рис. 81
Конвекционные потоки в ячейках Бенара (пунктиром обозначены ячейки, сплошной линией — конвекционные потоки)

отделяющая брюшную сторону от спинной. Клетки дифференцируются, и появляется три типа тканей: эндодерма, эктодерма и мезодерма. Затем процесс роста и дифференцирования продолжается.

Нарушения симметрии в ходе развития зародыша возникают спонтанно в результате неустойчивости симметричного состояния. При этом появление новой формы и дифференцирование сопровождают друг друга. Экспериментальные наблюдения показали, что развитие организма происходит как бы скачками. Этапы быстрых превращений, зарождения новой фазы сменяются плавными стадиями.

Таким образом, в ходе морфогенеза реализуется определенная последовательность бифуркаций, развитие происходит через фазы неустойчивостей. Именно в это время изменение управляющих (определяющих эволюцию) параметров, т. е. химических свойств окружающей среды, может эффективно воздействовать на формирование зародыша, искажая его нормальное развитие. Здесь существенную опасность представляют вещества, активно влияющие на биохимические процессы при морфогенезе.

??

▷ В § 68 приведены примеры возникновения различных структур в процессах самоорганизации. Попробуйте объяснить, какие флуктуации приводят при своем разрастании 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 ее нельзя считать замкнутой системой?

70 БИФУРКАЦИИ И СПОНТАННОЕ НАРУШЕНИЕ СИММЕТРИИ

Урок-практикум

Но как могло случиться, что природа почти симметрична, а не абсолютно симметрична?
...боги сотворили свои законы только приближенно симметричными, чтобы мы не завидовали их совершенству!

Р. Фейнман

?

Как на опыте убедиться в возможностях бифуркаций при развитии сложных систем во времени? Какая симметрия спонтанно нарушается в этих опытах?

Из старого портфеля Закон Архимеда. Условие плавания тел (Физика,.7 кл).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ Наблюдение на опыте прохождения различными системами точек бифуркации и связанного с этим спонтанного нарушения симметрии.

ПЛАН РАБОТЫ Последовательно выполняя задания изучить нарушение симметрии и явление бифуркации.

Существует притча, приписываемая французскому философу XIX в. Буридану, в которой говорится об осле, стоящем между абсолютно одинаковыми и равноудаленными пучками моркови. Будучи не в состоянии сделать выбор, к какому из пучков идти, он обречен на голодную смерть в идеально симметричном мире (рис. 82).

Очень часто в точках бифуркации изменяется симметрия системы. Поскольку прохождение точки 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, про-изойдет, если на место буриданова осла поставить осла реального.

Виктор Васнецов. Витязь на распутье

Какие еще иллюстрации, с вашей точки зрения, могут отражать явление бифуркации?

1. Проведите опыт с линейкой. Для опыта может быть использована стальная, деревянная или пластиковая линейка. 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 изогнется дугой. Направление изгиба определяется случайными факторами (рис. 83). Важно, чтобы линейка была симметричной, т. е. не содержала несимметричных срезов с разных сторон и была прямой (не изогнутой дугой). Опыт повторите несколько раз.

Если при проведении опыта линейка после снятия напряжения остается слегка изогнутой, перед повторным опытом попробуйте ее выпрямить. Объясните, какая симметрия нарушается.

ПОДСКАЗКА

Представьте себе зеркальное отражение линейки. Попробуйте повлиять на направление изгиба линейки рукой, наклоняя ладонь. Если опыт проводится с деревянной линейкой, то это, скорее всего, удастся. Объясните результат опыта.

Рис. 82
Буриданов осел

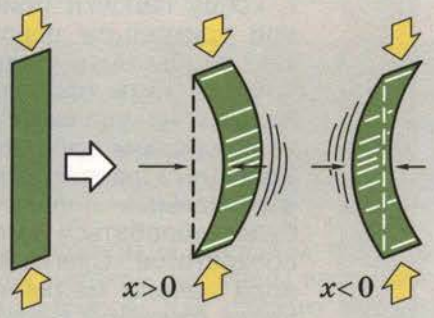


Рис. 83
Бифуркации при сжатии линейки

Рис. 84

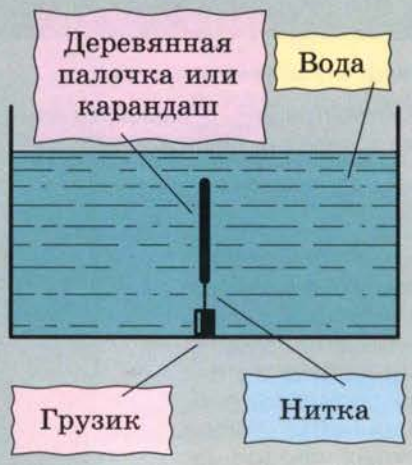


Рис. 85

2. Для выполнения задания потребуется достаточно ровная бумага, линейка с делениями или циркуль, карандаш и ножницы.
Вырежите из бумаги ровную прямоугольную полоску. Длина полоски может быть порядка десяти сантиметров, ширина — порядка одного сантиметра. С двух сторон полоски на одинаковых расстояниях от краев (расстояния могут быть произвольными) сделайте два одинаковых надреза (рис. 84). Надрезы могут быть произвольной длины, важно, чтобы они были одинаковыми.
Определите, какой симметрией обладает полоска.
Попробуйте ответить на вопрос: если вы симметричным образом возьметесь за края полоски и потяните, разрывая полоску, на сколько частей она разорвется? Проведите опыт и убедитесь, что полоска разрывается на две части. Повторите опыт несколько раз, варьируя размеры полоски, положение и длину надрезов, силу, с которой вы разрываете полоску. Убедитесь, что всегда результат один — полоска разрывается на две части. Какая симметрия нарушается в опыте? Объясните опыт, исходя из материала предыдущего параграфа.

ПОДСКАЗКА В данном случае флуктуации обусловлены неоднородностью бумаги.

3. Для этого опыта требуется раковина с пробкой (есть в кабинете физики или химии). Опыт настолько прост, что может быть легко проведен школьниками самостоятельно в обычной домашней ванне.
Для опыта требуется 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 нитку. Постарайтесь сделать это так, чтобы нить была прикреплена по центру торца палочки. К концу нити привяжите грузик, достаточный для того, чтобы палочка не всплывала при большом уровне воды, а плавала в вертикальном положении (рис. 85).
Заполните раковину водой настолько, чтобы палочка плавала в вертикальном положении. Возможно, после заполнения палочка будет колебаться вместе с водой. Дождитесь, пока колебания прекратятся. Слегка приоткройте пробку в раковине так, чтобы вода начала медленно вытекать. Важно, чтобы течение воды вдоль раковины было очень слабым.
Наблюдайте за палочкой. Начиная с некоторого момента она начнет наклоняться. После того как наклон станет заметным для глаза, медленно и осторожно (не создавая потоков воды) попы-

тайтесь изменить наклон палочки. Убедитесь, что возможен наклон в любом направлении. (При медленном вытекании воды измененный 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 очень симметричную палочку и раковину, прикрепить нить точно по центру), чтобы при понижении уровня воды палочка все время оставалась в вертикальном положении?

ПОДСКАЗКА Вспомните о флуктуациях в газе и броуновском движении.

4. Этот опыт может быть проведен в раковине или обычной домашней ванне, 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 симметричны.
Наполните раковину или ванну так, чтобы слой воды был примерно десять сантиметров. Дождитесь, пока колебания воды прекратятся, и откройте пробку. В некоторый момент при вытекании воды в районе сливного отверстия образуется воронка, вода начнет закручиваться. Определите направление, в котором закручивается вода (по часовой или против часовой стрелки). Для лучшего наблюдения можно добавить в район воронки каплю красителя или использовать мелкие кусочки бумаги. Повторите опыт несколько раз и убедитесь, что направление, в котором закручивается вода, остается неизменным.
Объясните, какая симметрия нарушается при образовании воронки.

В заключение обратим ваше внимание на то, что понятие симметрии всегда связывалось с понятиями красоты и совершенства. Ричард Фейнман, обсуждая нарушение симметрии, приводит следующее японское предание. В японском городе Никко есть ворота, которые японцы называют самыми красивыми воротами страны. Они были построены в период большого влияния китайского искусства архитектором и резчиком Цвингору (середина XVII в.). Это необычайно сложные ворота, со множеством фронтонов, изумительной резьбой и большим количеством колонн, на основании которых вырезаны драконьи головы, божества и т. п. Но, приглядевшись, можно заметить, что в сложном и искусном рисунке на одной из колонн некоторые из его мелких деталей вырезаны вверх ногами. В остальном рисунок полностью симметричен. Как говорит предание, это было сделано для того, чтобы боги не заподозрили человека в совершенстве. Ошибка была сделана, дабы не вызвать зависти и гнева богов. Подхватывая эту мысль, Фейнман и предлагает объяснение, приведенное в эпиграфе 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*

71 САМОВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

Урок-лекция

Nullum vivum ex ovo!
Omne vivum e vivo.
(Нет живого не из яйца!
Все живое от живого.)
Л. Окен

? Каковы способы самовоспроизведения живых организмов? В чем заключаются преимущества полового размножения перед бесполым? Какие формы бесполого и полового размножения существуют? Как формируются гаметы? Как чередуются поколения в жизненных циклах?

Ключевые слова Бесполое размножение • Половое размножение • Мейоз • Гаметы • Зигота • Споры • Жизненный цикл

Из старого портфеля Жизненные циклы растений и животных, размножение, генетика, наследственность и изменчивость, митоз, мейоз (см. § 32, 35; Биология, 7—9 кл.).

Процессы самоорганизации в биологических системах представляют собой развитие любого организма как открытой неравновесной системы, его жизненный цикл. 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 **бесполым** 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. Они носят название **гамет** и продуцируются родительскими особями. Поскольку при формировании зиготы сливаются и ядра гамет, то число хромосом соответственно удваивается. В ходе развития половых клеток имеет место близкий митозу процесс — **мейоз**, который обеспечивает уменьшение (редукцию) числа хромосом в гаметах.

В соматических клетках высших растений и животных каждая хромосома представлена в двух экземплярах. Такие пары хромосом называют **гомологичными**. В ходе мейоза образующиеся гаметы получают по одинарному (гаплоидному) набору хромосом, а при слиянии ядер двух гамет в зиготе двойной (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 (комбинаций) 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 бесполым размножением. Неудивительно, что половое размножение возникло на ранних этапах эволюции и служит доминирующей формой размножения высших многоклеточных организмов.

Мейоз состоит из двух следующих друг за другом делений клетки (рис. 86). В *интерфазе I*, предшествующей первому делению, как и в интерфазе митоза (§ 31), происходит удвоение хромосом, причем обе копии остаются тесно связанными друг с другом. В *профазе I* происходит тесное смыкание (конъюгация) гомологичных хромосом; при этом возможен

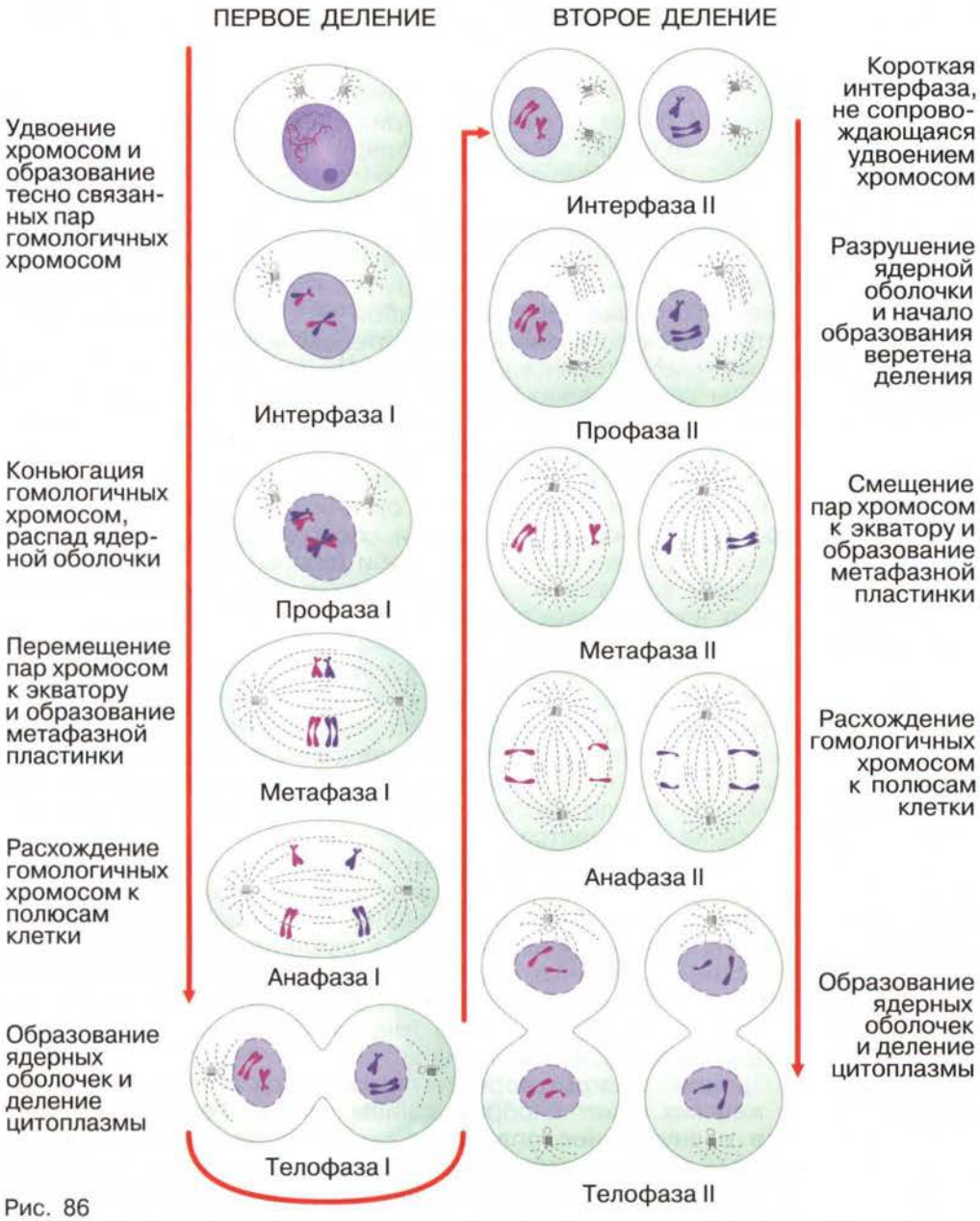


Рис. 86
Мейоз

перекрест хромосом (кроссинговер), когда гомологичные хромосомы обмениваются участками. В *метафазе I* происходит образование метафазной пластинки. В *анафазе I* каждая пара гомологичных хромосом перемещается к разным полюсам клетки, вслед за чем 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 еще в первой интерфазе хромосомы выстраиваются в метафазную пластинку, и хромосомы каждой пары расходятся в *анафазе II* к разным полюсам. 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 проходить и без деления цитоплазмы клетки.

БЕСПОЛОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ. Бесполое размножение характерно для всех микроорганизмов. У одноклеточных эукариот оно осуществляется несколькими способами, чаще всего благодаря делению клеток надвое (рис. 87).

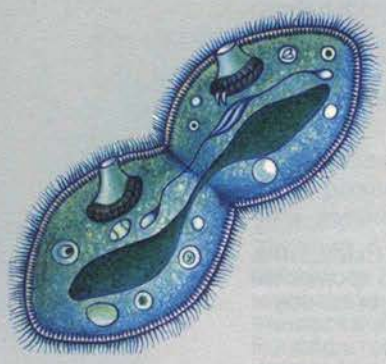


Рис. 87
Бесполое размножение инфузории-туфельки

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, при котором новая особь появляется на теле материнской в результате интенсивного размножения ее соматических клеток на определенном участке тела — зоне почкования (рис. 88). 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.

Рис. 88
Почкующаяся гидра

ПОЛОВОЕ РАЗМНОЖЕНИЕ. Начальный этап формирования полового процесса (т. е. обмена генетической информацией) в ходе эволюции — это конъюгация бактерий. Две бактерии частично обмениваются генетическим материалом. Аналогичный процесс (обмен гаплоидными ядрами) наблюдают у инфузорий. Число особей в результате такого полового процесса не изменяется.

Позднее у живых организмов появились специальные половые клетки (гаметы), между которыми и стал осуществляться процесс полного слияния. В процессе эволюции полового размножения возникло разделение на мужские и женские особи, что выразилось в строении гамет: женские гаметы стали крупными и неподвижными (яйца или яйцеклетки), а мужские — мелкими, снабженными 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 и др.), которые выметывают половые продукты наружу, и слияние мужских и женских гамет происходит в вод-

ной среде. При внутреннем оплодотворении слияние гамет происходит внутри женского организма. Оно характерно для обитателей суши (высшие растения, насекомые, позвоночные животные).

ЧЕРЕДОВАНИЕ ПОКОЛЕНИЙ. Для многих 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 путем (делением), затем у них проходит половой процесс (например, конъюгация у инфузорий), вслед за этим возобновляется бесполое размножение. Сходную картину наблюдают и у некоторых многоклеточных животных. Например, гидра летом размножается почкованием, а с наступлением холодов у нее формируются половые клетки, и происходит оплодотворение (рис. 89, *а, б*). Из оплодотворенных яиц на следующий год развиваются новые особи.

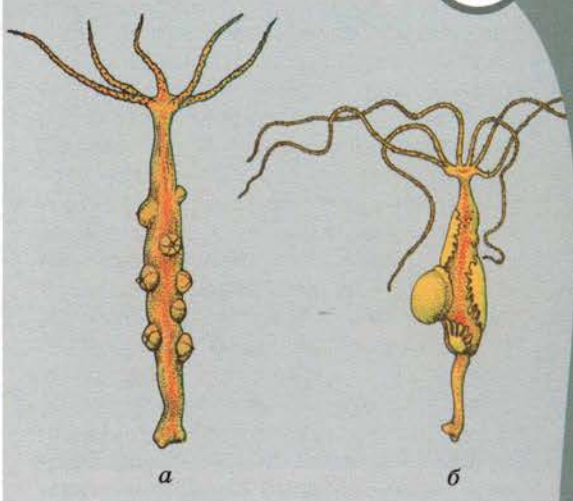


Рис. 89
Половозрелая гидра: с семенниками (*а*); с яйцами (*б*)

Существуют многие виды, у которых чередование полового и бесполого размножения, а соответственно полового и бесполого поколений носит правильный, циклический характер. **Жизненный цикл** таких видов, начавшись с определенной стадии, проходит через несколько поколений и вновь возвращается к исходной стадии. Например, в жизненном цикле многих кишечнополостных имеет место регулярное чередование полипов и медуз (рис. 90).

Рис. 90
Жизненный цикл сцифомедуз

Для многих водорослей и всех высших растений характерно чередование поколений, при котором половое поколение (гаметофит) гаплоидно, а бесполое (спорофит) диплоидно. Из споры вырастает гаплоидный гаметофит, который продуцирует гаметы. Оплодотворенная яйцеклетка дает начало диплоидному спорофиту, при образовании которым 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 сведен к зародышевому мешку, который находится внутри семяпочки, т. е. окружен со всех сторон тканью спорофита.

Основными способами самовоспроизведения живых существ является 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 многих живых существ наблюдают чередование полового и бесполого размножения.

Существование разных способов размножения направлено на сохранение биоразнообразия в экосистемах, т. е. биосферы в целом.

*В **новый** портфель*

? ?

- ▷ В чем заключается смысл полового размножения? Почему в процессе эволюции он оказался доминирующим?
- ▷ Приведите примеры бесполого размножения у организмов разных систематических групп.
- ▶ Какое значение в жизни вида имеет чередование поколений в жизненном цикле?

72 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 Онтогенез • Дифференцировка • Дробление • Бластула • Гаструла • Эктодерма • Энтодерма • Мезодерма • Клонирование • Ген • Тератология

*Из **старого** портфеля* Размножение и развитие. Основы генетики. Транскрипция и трансляция (Биология, 9 кл.).

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ — ОНТОГЕНЕЗ. Всем живым существам свойственен процесс **индивидуального развития,** или **онтогенез**. У многоклеточных организмов, размножающихся половым путем, под

этим подразумевают процесс развития особи начиная с зиготы и до ее естественной смерти. На первом этапе благодаря интенсивным митотическим делениям 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 ее по размерам, лишены ряда органелл, которые формируются лишь с течением времени одновременно с увеличением объема 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.

Александр Иванов. Ветка

Из солнечных лучей, из струй весенних ливней
Оно плетет листвы живые кружева,
К покорным небесам все выше, все призывней
Вздымается его могучая глава...

Э. Верхарн. Дерево

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

У размножающихся бесполым путем многоклеточных организмов онтогенез выражен более отчетливо. У гидры, например, этот процесс начинается с момента зарождения почки на материнском организме и происходит до смерти дочерней особи.

ЭТАПЫ ОНТОГЕНЕЗА. Онтогенез многоклеточных животных, размножающихся половым путем, отчетливо распадается на последовательные этапы: зигота → эмбриональный период → рождение особи → постэмбриональный период → естественная смерть. Этап эмбрионального развития начинается с **дробления** зиготы. Это ряд последовательных митотических делений яйцеклетки, в ходе которых она, не увеличиваясь в размерах, разделяется на все более мелкие клетки — **бластомеры**. В результате возникает **бластула**. В типичном случае она представляет собой полый шар, стенка которого образована одним слоем клеток (рис. 91, *а*), а внутренняя полость заполнена жидкостью. Следующим шагом в эмбриональном развитии является формирование **гаструлы.** Способы ее образования, так называемая **гаструляция**, различны. Самые распространенные из них — это

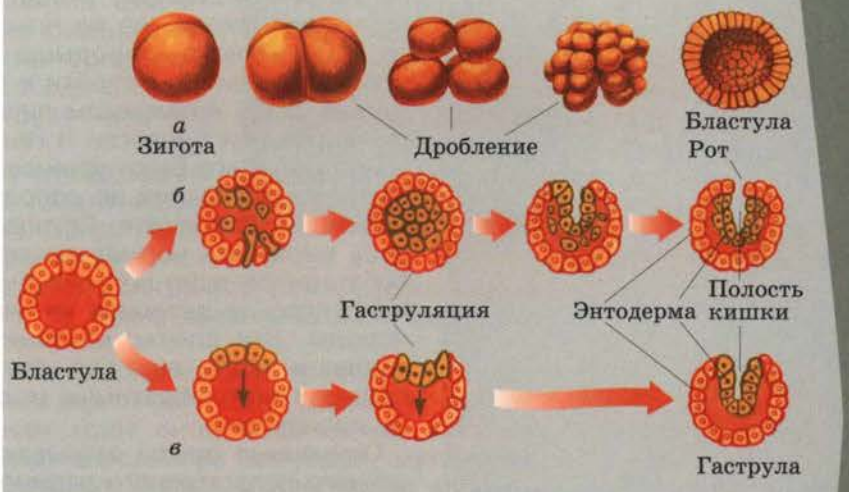


Рис. 91
Бластула (*а*) и два способа образования гаструлы (*б*, *в*)

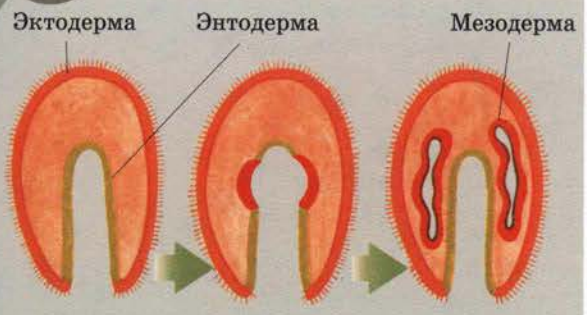


Рис. 92
Образование трехслойного зародыша

миграция некоторых клеток бластулы внутрь (рис 91, *б*) либо впячивание клеточного слоя на одном из ее полюсов (рис. 91, *в*). В итоге образуется двуслойный зародыш — гаструла, наружный слой которого представляет собой **эктодерму**, а внутренний — **энтодерму**.

У всех животных, за исключением губок и кишечнополостных, в конце гаструляции появляется еще один слой клеток — **мезодерма**, располагающийся между эктодермой и энтодермой (рис. 92).

В результате эмбрионального развития формируется организм, который способен к самостоятельному существованию. Рождение новой особи происходит или при вылуплении из яйца (у яйцекладущих животных), или при выходе из тела матери (у живородящих). С этого момента начинается постэмбриональный период в развитии организма.

Продолжительность жизни особей, по-видимому, генетически запрограммирована. Поэтому с определенного момента начинается старение организма, завершающееся его естественной смертью. Процесс старения 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 процессов 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 оплодотворенного яйца вырастает целый организм, волнует людей издавна и до сих пор остается 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. 93).

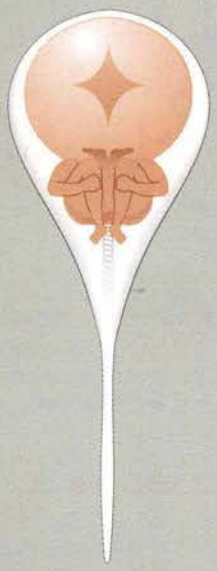


Рис. 93
Иллюстрация взглядов преформистов

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 ученых 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, еще раз убеждают в том, что в ходе нормального развития необратимых модификаций генетического материала не происходит.

Описанные опыты открывают путь для практически не ограниченного вегетативного размножения индивидуума путем пересадки ядер его клеток в яйцеклетки другого организма. В результате одна особь может дать начало огромному числу идентичных

потомков — **клонов**. Процесс этот носит название **клонирование**. Не вызывает сомнения и принципиальная возможность клонирования человека. В настоящее время работы в этом направлении во многих странах запрещены в законодательном порядке. Однако вопрос о клонировании человека обязательно возникнет.

Если при дифференциации клеток, как правило, не возникает генетических модификаций, то как же осуществляется регуляция онтогенеза? По современным представлениям этот процесс обусловливается 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 еще недостаточно. Известно, что в яйцеклетках, как и в других клетках организма, присутствуют белки, которые могут «открывать» или «запирать» определенные гены. Такой белок взаимодействует с регулируемым им геном и в зависимости от характера регуляции либо делает возможным начало транскрипции с него мРНК (см. § 51), 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 между клетками разных типов и разными частями развивающегося организма за счет выделения клетками особых веществ — *индукторов*, оказывающих влияние на клетки других типов. На завершающих этапах эмбрионального развития и в течение постэмбрионального периода все большее значение приобретает гормональная регуляция активности генов.

На разных этапах онтогенеза существенное регулирующее влияние на него оказывают факторы внешней среды (температура, гравитация, различные химические и физические агенты). В этих точках зародыш как раз и проходит через бифуркации, поэтому даже воздействие факторов малой интенсивности может сказаться на ходе дальнейшего развития. Значимое влияние окружающей среды на реализацию генетической программы при развитии организма приводит к тому, что даже особи с одинаковым генотипом (например, клоны) не будут все же полностью идентичны друг другу.

В ряде случаев воздействие факторов внешней среды может приводить к аномалиям в развитии организма. Изучением возникающих при этом пороков и уродств, а также выяснением причин их появления и роли в этом факторов окружающей среды занимается самостоятельный раздел медико-биологических наук — тератология.

Относительно недавно выяснилось, что большинство клеток животных несет в своем 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 серьезно повреждена.

Апоптоз играет важную роль в развитии организма и регуляции его клеточного состава. Он служит защитным механизмом для удаления отработавших свое или ненужных на данном этапе онтогенеза клеток, а также потенциально опасных, например инфицированных вирусами, мутантных или опухолевых. В клетках злокачественных опухолей программа апоптоза может блокироваться. Это одна из причин, по которой они не имеют пределов в своем размножении.

ОБРАЗ ЖИЗНИ Исследования показывают, что развитие живого организма из яйцеклетки проходит несколько точек бифуркации. Именно поэтому алкоголь, никотин и некоторые лекарства в дозах, практически не оказывающих влияния на взрослый организм человека, могут отрицательно сказаться на развитии плода. Учтите это в вашей дальнейшей жизни.

??

- ▷ Каким может быть воздействие факторов внешней среды на ранние этапы онтогенеза?
- ▷ Каково значение развития с метаморфозом?
- ▶ Какие особенности дифференциации клеток в онтогенезе делают возможным клонирование?

В процессе индивидуального развития (онтогенеза) живые организмы проходят ряд последовательных стадий, начиная с зиготы и заканчивая естественной смертью. В ходе дифференциации клеток их генетический аппарат сохраняется в полном объеме, что открывает возможности для клонирования. Регуляция онтогенеза основана на дифференциальной активации генов в разных клеточных линиях. Важную регулирующую роль на этапах раннего развития играют факторы внешней среды.

В ***новый*** *портфель*

73 РОЖДЕНИЕ ВСЕЛЕННОЙ

Урок-лекция

Никто еще не проник в тайну великого начала...

Омар Хайям

?

Стационарна ли Вселенная? С чего все началось? Что первично: элементарная частица или атом? Какими свойствами обладает физический вакуум? Какие наблюдения подтверждают гипотезу Большого взрыва?

Ключевые слова Закон Хаббла • Красное смещение в спектрах галактик • Космология • Гипотеза и сценарий Большого взрыва • Физический вакуум • Реликтовое излучение • Происхождение химических элементов

Из ***старого*** *портфеля* Электромагнитные волны. Свет — электромагнитная волна (Физика, 9 кл.). Химический элемент как вид атомов (Химия, 8 кл.).

Изучив процессы самоорганизации на примере некоторых свойств биологических систем, обращаемся к рассмотрению систем мегамира. Развитие Вселенной как целого изучает космология — наука, которая сейчас активно развивается.

ЭФФЕКТ ДОППЛЕРА И КРАСНОЕ СМЕЩЕНИЕ. В 1929 г. американский астроном Эдвин Хаббл, изучая спектры галактик, установил, 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 **крас-**

ным смещением в спектрах далеких галактик, объясняется на основании эффекта Доплера как следствие удаления галактик друг от друга.

Эффект Доплера состоит в том, что если источник излучения движется относительно приемника излучения со скоростью υ, то вместо излучения на длине волны λ_0 приемник регистрирует излучение с длиной волны λ, так, что выполняется соотношение

$$(\lambda - \lambda_0) / \lambda_0 = \upsilon/c,$$

где υ — скорость источника относительно приемника, c — скорость света. Длина волны увеличивается, если источник удаляется от приемника, и соответственно уменьшается при их сближении.

Хаббл установил, что скорости удаления далеких галактик υ пропорциональны расстояниям до них — r. Коэффициент пропорциональности был назван впоследствии постоянной Хаббла — H. Эта закономерность получила название **закона Хаббла:**

$$\upsilon = H \cdot r.$$

Обычно космические расстояния измеряют в парсеках (1пк = 3,26 св. г.), мегапарсеках (Мпк), скорость удаления галактики — в км/с, тогда H составляет примерно 75 (км/с)/Мпк.

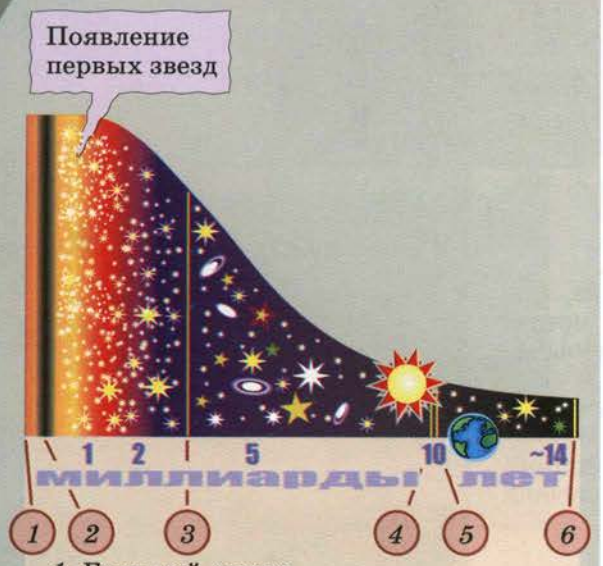
Разбегание галактик может быть объяснено расширением всей Вселенной. Таким образом, наблюдения Хаббла впервые установили ее нестационарность.

Сальвадор Дали. Отче наш

Незадолго до открытия Хаббла, в 1922 г., российский ученый Александр Фридман, работавший в то время в Ленинграде, теоретически показал невозможность существования стационарной Вселенной и рассчитал возможные варианты ее эволюции, которые сейчас называют моделями Фридмана. Согласно этим моделям, если средняя плотность Вселенной превосходит некоторое критическое значение 10^{-29} г/см^3, то через некоторое время под действием гравитации начнется процесс сближения галактик и схлопывания Вселенной. Если средняя плотность Вселенной меньше критической, то ее ожидает бесконечное расширение. И только в случае равенства средней плотности вещества Вселенной и критической плотности расширение Вселенной через какое-то время замедлится и остановится.

Появились модели Вселенной, объясняющие ее расширение действием так называемого *физического вакуума*, важнейшим свойством которого является антигравитация.

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. 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/см^3 и выше), наполненной излучением и рождающимися и аннигилирующими 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) (рис. 94). Через миллионы лет в уже холодной, разряжен-



1. Большой взрыв.
2. «Темные века».
3. Образование Млечного Пути.
4. Образование Солнечной системы.
5. Появление жизни на Земле.
6. Появление человека.

Рис. 94
Сценарий Большого взрыва и эволюции Вселенной

ной Вселенной началось формирование галактик из-за гравитационной неустойчивости облаков газа. В галактиках родились звезды 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 тяжелых, чем водород и гелий, химических элементов (вплоть до железа) происходит лишь в недрах звезд. Элементы тяжелее железа синтезируются по современным представлениям только при вспышках сверхновых звезд, которые происходят в результате эволюции сверхмассивных звезд. Звезды второго поколения наряду с водородом и гелием содержат более тяжелые элементы (азот, кислород, неон и др.). Планетные системы, по-видимому, рождаются вместе с одиночными звездами второго поколения. Возраст нашего Солнца и тел Солнечной системы оценивают в 4,5—5 млрд лет. Солнце — звезда второго поколения.

Вселенная согласно современным представлениям не стационарна, она эволюционирует. Наблюдается ускоренное расширение Вселенной. Химические элементы синтезировались в ходе эволюции Вселенной и космических объектов, прежде всего звезд.

В ***новый*** *портфель*

??

▷ Почему наблюдаемый в спектрах далеких галактик сдвиг спектральных линий называют красным смещением?

▶ Какие процессы проходили в ранней Вселенной согласно сценарию Большого взрыва?

▷ Каким фридмановским сценариям противоречит наблюдаемое сейчас расширение Вселенной?

74 ОБРАЗОВАНИЕ ГАЛАКТИК, ЗВЕЗД, ПЛАНЕТНЫХ СИСТЕМ

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 звезд? Может ли стать звездой Юпитер? Как образуются планетные системы?

Ключевые слова Космогония • Гравитационная неустойчивость • Протозвезда • Гидростатическое равновесие • Нормальная звезда • Белый карлик • Сверхновая звезда • Нейтронная звезда • Черная дыра

Из старого портфеля Состав галактик. Расстояние до галактик. Газовые законы (Физика, 7—9 кл.).

ФОРМИРОВАНИЕ ГАЛАКТИК. Проблемой происхождения отдельных небесных тел и их систем занимается область астрономической науки, которая называется **космогонией.** Миллиарды **галактик,** огромных космических звездных систем массой от 10^5 до 10^{14} масс Солнца со средней плотностью вещества в них 10^{-24} г/см^3, являются основными единицами крупномасштабной 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 K, прошел 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 звезд происходит в уже обособленных галактиках.

ОБРАЗОВАНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЕЗД. 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 звезды.

Сначала сжатие возникшей **протозвезды** 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 ее 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 случиться только с объектом массой не меньше 0,01 массы Солнца, в недрах звезды начнутся реакции термоядерного синтеза. Тогда звезду уже можно назвать **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 звезды, например с массой 0,1 массы Солнца, — долгожители. Они могут оставаться в состоянии равновесия на стадии нормальной звезды сотни миллиардов лет. В ядрах звезд идет превращение водорода в гелий и более тяжелые элементы (вплоть до железа в массивных звездах). 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/м^3). Оболочка звезды при этом раздувается, и в течение сотен тысяч лет со стороны такая звезда будет выглядеть красным гигантом, размерами с орбиту Юпитера. Потом оболочка будет сброшена, и маленький, с Землю, **белый карлик** будет медленно остывать в течение 10^{12} лет. Такая судьба ожидает наше Солнце.

Рис. 95
Крабовидная туманность — остаток вспышки сверхновой звезды

Если масса звезды не превосходит 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 (ее центральные зоны) превращается в белый карлик, который светит за счет накопленного тепла, остывает и в конце концов превращается в темный, так называемый коричневый карлик.

Массивные звезды на последней стадии своей эволюции становятся экзотическими объектами — **нейтронными звездами** или **черными дырами.** Сначала звезды массой больше пяти масс Солнца 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 звезд (рис. 95). 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. Бóльшая часть вещества звезды разбрасывается в межзвездное пространство, обогащая его тяжелыми химическими элементами. Из обогащенной межзвездной среды образуются звезды следующих поколений. На месте взрыва может остаться либо нейтронная звезда, если масса остатка не превосходит 2,5 масс Солнца, либо черная дыра, если масса превосходит это значение.

ОБРАЗОВАНИЕ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ. Согласно 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 все более плоским облака начали формироваться планеты. При этом строительным материалом планет служили относительно небольшие твердые 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, звезд, планетных систем, управляет гравитация. Сжатие объектов прекращается, когда уравновешиваются силы гравитации и давления. В недрах нормальной звезды идут реакции термоядерного синтеза. Конечными стадиями эволюции звезд в зависимости от их массы могут стать белые карлики, нейтронные звезды или черные дыры. Газовые и газопылевые туманности, обладающие моментом вращения, порождают вращающиеся, достаточно плоские системы (спиральные галактики, планетные системы и др.)

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?

75 ЭВОЛЮЦИЯ ЗВЕЗД И СИНТЕЗ ТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Урок-практикум

В каждой естественной науке заключено столько истины, сколько в ней есть математики.

И. Кант

?

Как связана масса, мощность излучения звезды и время ее жизни?
Какие процессы происходят в недрах звезд и какова их роль в эволюции Вселенной?

Из старого портфеля Состав атомного ядра. Энергия связи атомных ядер. Ядерные реакции. Источники энергии Солнца и звезд (Физика, 8—9 кл.).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ Ознакомиться с процессами, происходящими на звездах, и их ролью в эволюции Вселенной. Выяснить, как связана масса звезды с временем ее жизни.

ПЛАН РАБОТЫ Выполните задания 1—6. По результатам работы сделайте выводы о значении процессов, происходящих в недрах звезд в эволюции Вселенной.

1. В предыдущем параграфе говорилось о стадии эволюции звезды, в течение которой звезда называется нормальной звездой. Эта стадия характеризуется тем, что в недрах звезды происходит превращение протонов в ядро гелия. Как и многие химические реакции, эта ядерная реакция представляет собой цепочку реакций:

$$^{1}_{1}H + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{2}_{1}H + e^{+} + \nu + 0{,}42 \text{ МэВ},$$
$$^{2}_{1}H + {}^{1}_{1}H \rightarrow {}^{3}_{2}He + \lambda + 5{,}49 \text{ МэВ},$$
$$^{3}_{2}He + {}^{3}_{2}He \rightarrow {}^{4}_{2}He + 2\,{}^{1}_{1}H + 12{,}86 \text{ МэВ}.$$

В этих формулах символами ν, e^{+} и λ обозначены нейтрино, позитрон (антиэлектрон) и гамма-квант. Энергия, выделяющаяся при реакциях, выражена в мегаэлектронвольтах. Напомним, что $1 \text{ эВ} = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ 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 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 $4{,}6 \cdot 10^{7}$ Дж.

ПОДСКАЗКА

В цепочке приведенных реакций 4 протона превращаются в 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. ее массой. Тем не менее более массивная звезда меньше живет. 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 мощность излучения звезды (астрономы называют ее светимостью и обозначают через L) пропорциональна 4-й степени массы, т. е. $L = CM^4$, где C — некоторая константа. Оцените, какой степени массы пропорционально время жизни звезды.

ПОДСКАЗКА

Для оценки примите самую простою модель, согласно которой мощность звезды не изменяется со временем. Далее используйте энергетические соображения.

5. Время жизни звезды типа Солнца порядка 10 млрд лет. Оцените, сколько времени живут звезды в 10 раз большей массы и в 10 раз меньшей массы.

6. Уменьшение количества водорода на звезде способствует сжатию ее гравитационными силами. Возникают условия для превращения ядер гелия в ядра более тяжелых элементов. Постепенно образуются все более тяжелые ядра. Гипотезы об эволюции Вселенной говорят о том, что все тяжелые ядра, в том числе и те, которые входят в состав нашего организма, образовались на звездах. Объясните, почему железо является одним из самых распространенных элементов в составе Земли.

ПОДСКАЗКА

Вспомните об удельной энергии связи (см. рис. 24 на с. 79).

В недрах звезд происходят реакции термоядерного синтеза с выделением энергии, во много раз превосходящей энергию химической реакции. В процессе этих реакций образовались все тяжелые элементы, существующие в природе. Мощность излучения звезд возрастает с их массой, в результате чего время жизни более массивных звезд меньше, чем у менее массивных.

В ***новый*** *портфель*

Литература для дополнительного чтения

1. Засов А. В. Астрономия. Учеб. для 11 кл. / А. В. Засов, Э. В. Кононович. — М.: Просвещение, 1996.

76 ЭВОЛЮЦИЯ ПЛАНЕТЫ ЗЕМЛЯ

Урок-лекция

Я — сын Земли, дитя планеты малой,
Затерянной в пространстве мировом...
В. Брюсов

? Каково строение Земли? Почему недра Земли разогретые и плотные? Как возникли на Земле гидросфера и атмосфера?

Ключевые слова Возраст Земли как планеты • Причины разогрева вещества Земли: гравитационное дифференцирование, распад радиоактивных изотопов • Первичная атмосфера • Вторичная атмосфера

Из старого портфеля Земля как планета. Возникновение и геологическая история Земли. Земная кора и литосфера, их состав. Земная поверхность: формы рельефа суши, дна Мирового океана, их изменение под влиянием внутренних, внешних и техногенных процессов. Гидросфера, ее состав и строение. Атмосфера, ее состав, строение, циркуляция (География, 6 кл.).

ВОЗРАСТ И СТРОЕНИЕ ЗЕМЛИ. **Возраст Земли**, который определяется методами радиоактивного анализа, оценивается в $4{,}55 \pm 0{,}07$ млрд лет. В процессе формирования Земля нагревалась, в результате чего появлялись расплавленные породы. При этом тяжелые породы, содержащие железо и никель, осаждались в центральной области Земли, а легкие (силикаты) всплывали к поверхности. Так происходило **гравитационное дифференцирование** вещества Земли. Этот процесс (хотя и не так интенсивно), продолжающийся и в наше время, служит одним из источников внутреннего тепла Земли. Другим важным источником является **распад радиоактивных изотопов** — урана (U), тория (Th) и калия (K). В настоящее время все внутренние источники 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.

В центре Земли (во внутреннем ядре) сконцентрировались железо, 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 твердого 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. 96).

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 литосферных 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. Из-

вестен суперконтинентальный цикл продолжительностью около 500 млн лет, в течение которого континенты сливаются в суперконтиненты (Пангея I, II, III), а затем снова разламываются.

ЭВОЛЮЦИЯ ГИДРОСФЕРЫ И АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ. Гидросфера, водная оболочка Земли, сформировалась за счет 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 жидкая вода присутствовала на Земле в значительном количестве. В настоящее время Мировой океан покрывает 71% поверхности Земли. Общее количество свободной воды составляет $1{,}6 \cdot 10^8$ т. Считается, что за счет дегазации из внутренних областей Земли вышло от 50 до 70% содержащейся там воды. Этот процесс будет продолжаться еще достаточно долго.

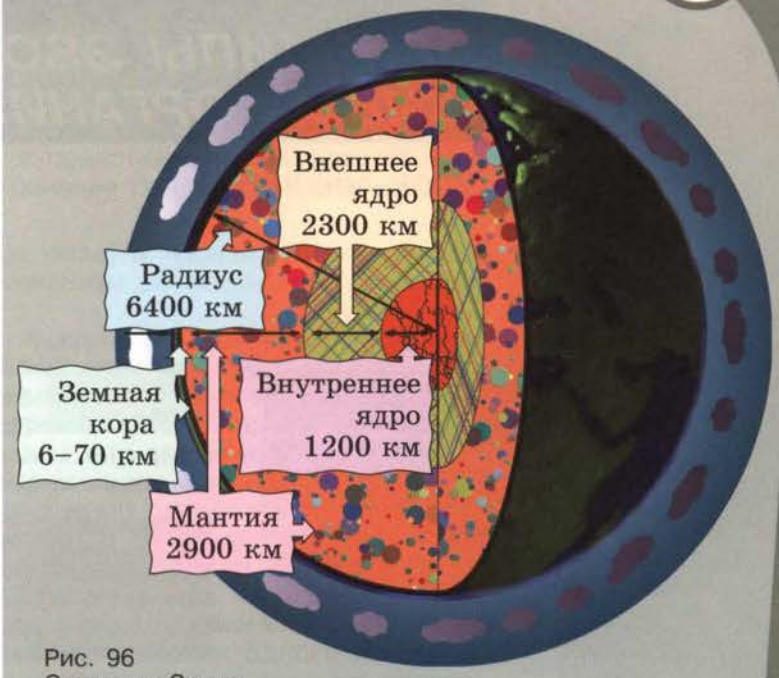


Рис. 96
Строение Земли

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 за счет выбросов вулканических газов и состояла из углекислого газа, аммиака, метана, а также оксидов азота, серы и др. Наконец, современная атмосфера, содержащая свободный кислород, начала формироваться около 2 млрд лет тому назад за счет жизнедеятельности фотосинтезирующих организмов. Современная атмосфера Земли содержит 78% азота, 21% кислорода, 1% аргона и сотые доли процента других газов, среди которых — углекислый газ, неон и др.

Основные процессы, которые определяли эволюцию Земли как планеты, — это гравитационная дифференциация и дегазация недр. Разогревает недра также энергия, выделяющаяся при распаде радиоактивных элементов. Атмосфера Земли не была неизменной. Первичная и вторичная атмосферы — результат дегазации недр. На современную атмосферу оказала воздействие и биосфера Земли.

В ***новый*** *портфель*

??

- ▷ Почему внутренние слои Земли разогреты?
- ▶ 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.

77 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...

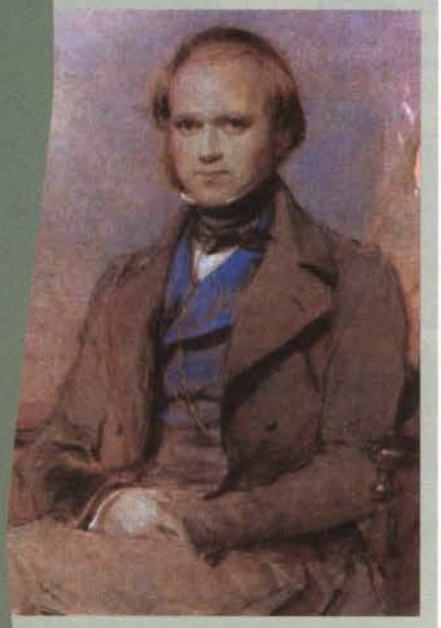
П. Тейар де Шарден

? Как развивались эволюционные идеи до Дарвина? В чем состоит суть учения Ч. Дарвина? Какие существуют доказательства эволюции живых существ? Как исследуют эволюционный процесс?

Ключевые слова Эволюция • Креационизм • Изменчивость • Естественный отбор • Палеонтология • Биогеография • Морфология • Эмбриология • Молекулярная биология • Атавизм • Рудиментарный орган • Реликт

Из старого портфеля Эволюционное учение. Основы генетики. Биоразнообразие. Популяции. Развитие организмов (см. § 33, 47, 69—70 и Биология, 9 кл.). Географическая оболочка (География, 6—7 кл.).

Процессы становления и развития жизни на Земле невозможно понять без знания основных принципов эволюции живых организмов. Значение этих концепций выходит далеко за рамки одной науки — биологии. 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, к развитию идеи глобального эволюционизма.



Джордж Ричмонд. Ч. Дарвин

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, развивались сравнительная анатомия, биогеография, палеонтология. Идеи эволюционизма высказывались многими учеными, но они еще 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 приводит 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 путем приспособления к внешним усло-

виям. 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 (вспомним материал § 34). 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 наблюдают изменчивость признаков, даже в потомстве одной пары родителей нет совершенно одинаковых особей.

Изменчивость может быть наследственной и ненаследственной. Только первая 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 освещенности.

Сопоставив изменчивость и борьбу за существование, Дарвин сделал важнейший вывод: в природе идет 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, причем тот признак, который дал им преимущество в борьбе за существование, наследуется их потомками. В результате число особей, обладающих признаком, благоприятным в конкретных условиях, становится все больше и больше, и они на определенной территории полностью вытесняют остальных особей этого вида. Формируется группа особей, обладающих новым приспособлением — **адаптацией** к существованию в данных условиях, а на ее основе может в дальнейшем появиться новый вид.

Следует помнить, что приспособление никогда не бывает окончательным и универсальным. Например, белая окраска зайца-беляка выручает его зимой, но весной и осенью, наоборот, выдает хищнику. В процессе эволюции происходит «шлифовка» адаптаций, их все более точная подгонка под определенные условия существования. Но и условия эти непостоянны, и их изменение дает толчок для закрепления отбором новых признаков. Поэтому процесс эволюции не останавливается, свидетельством чему служит то 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 отбор**, в ре-

Суть эволюционной теории Дарвина заключается в том, что исходный материал для эволюции поставляет 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.

В ***новый*** *портфель*

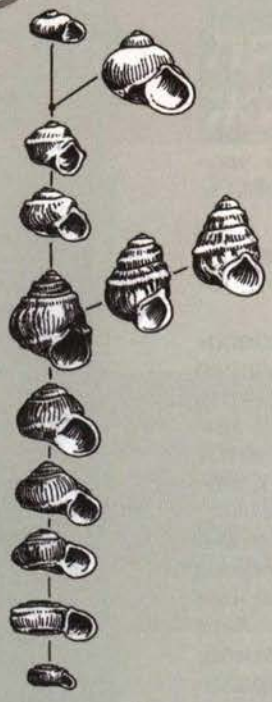


Рис. 97
Последовательность изменения ископаемых форм моллюска рода Гираулюс

зультате 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.

ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ЭВОЛЮЦИИ И МЕТОДЫ ЕЕ ИЗУЧЕНИЯ. Мы уже неоднократно подчеркивали, что молекулярная организация живого едина. Способы хранения, передачи и реализации генетической информации, механизмы пластического и энергетического обмена, фотосинтез, 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, мумий) в горных породах, можно получить объективную информацию о жизни в далекие геологические времена. Прослеживается отчетливая закономерность: уровень организации живых существ усложняется по мере перехода от древних земных слоев к новым.

Анализируя ископаемые организмы из следующих друг за другом слоев, можно получить истинную последовательность возникновения и изменения форм в эволюции (рис. 97).

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 разделенных преградой районах. Например, фауна Северной Евразии и Северной Америки сходна, поскольку еще относительно недавно оба континента соединялись Берингийским мостом, и 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.

Морфология позволяет путем 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 числа пальцев, что связано со сменой местообитания и образа жизни животных (рис. 98). Тапир обитает во влажных тропических лесах, а лошадь держится на открытых пространствах. Для быстрого бега, что служит залогом спасения от хищников на открытой местности, наиболее выгодна опора на один палец, так как обеспечивает быстрое отталкивание.

Доказательством эволюции служат и обнаруживаемые у живых организмов рудиментарные органы. У китообразных, например, в скелете сохраняются небольшие тазовые косточки, что подтверждает факт их происхождения от наземных млекопитающих с развитыми задними конечностями. У человека примером 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 располагает целым арсеналом методов для изучения

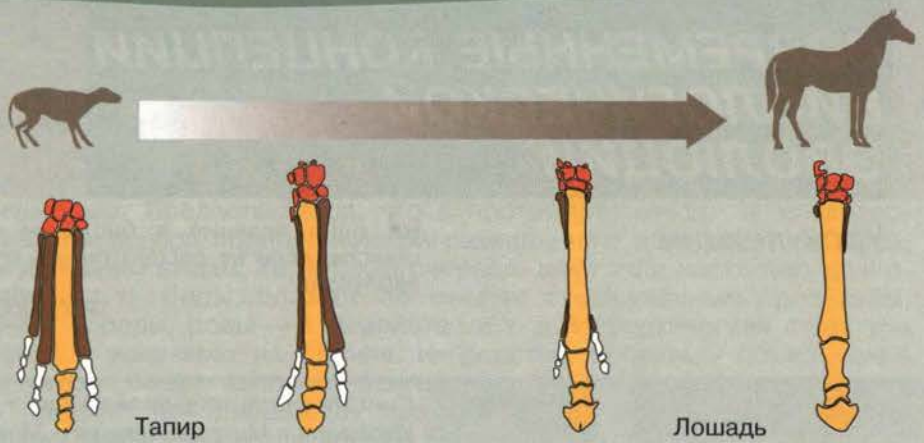


Рис. 98
Сравнительно-анатомический ряд передних конечностей

эволюционного процесса. Сравнительный анализ ранних этапов онтогенеза позвоночных показал, что эмбрионы рыб, амфибий, рептилий, птиц и млекопитающих вначале очень сходны, затем появляются признаки, характерные для рыб и амфибий, еще позже — особенности рептилий, птиц и млекопитающих (рис. 99). Таким образом, в ходе развития зародыша повторяются определенные черты развития предковых форм, притом на ранних этапах это признаки далеких предков (менее родственные формы), а на поздних — близких.

Один из широко распространенных методов **молекулярной биологии** основывается на анализе замен нуклеотидов в определенном 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.

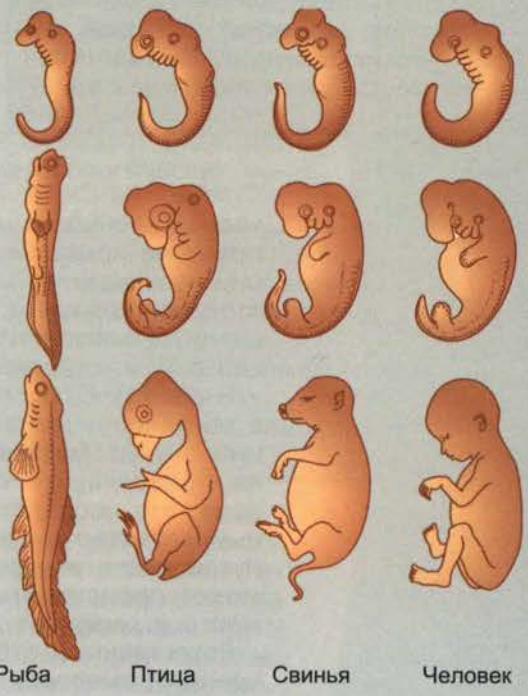


Рис. 99
Сравнение зародышей позвоночных на разных стадиях развития.

??

- Какая форма изменчивости наиболее важна для эволюции?
- Объясните механизм действия естественного отбора?
- Какие факты говорят в пользу единства органического мира?
- Какими группами доказательств эволюции располагает современная наука?
- В чем отличие естественного отбора от искусственного?

Многочисленные данные однозначно свидетельствуют о единстве происхождения всех населяющих Землю живых существ и подтверждают факт их эволюции. Использование методов палеонтологии, биогеографии, морфологии, эмбриологии и молекулярной биологии позволяет определить родственные связи между живыми организмами и исследовать особенности протекания эволюционного процесса.

В ***новый*** *портфель*

78 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 такое микроэволюция и макроэволюция? Каковы основные направления эволюции? Что такое биологический прогресс? Каковы современные проблемы теории эволюции?

Ключевые слова Синтетическая теория эволюции • Мутация • Изоляция • Микроэволюция • Макроэволюция • Арогенез • Аллогенез • Биологический прогресс • Нейтральная эволюция • Макромутации

Из старого портфеля Эволюционное учение. Основы генетики. Биоразнообразие. Популяции. Генетический код. Размножение и развитие организмов (см. § 33—34, 49—51, 72—73 и Биология, 9 кл.).

СИНТЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ЭВОЛЮЦИИ. Во времена Дарвина механизм наследственности не был еще известен. Сам Дарвин полагал, что наследственные признаки родителей смешиваются. Дальнейший прогресс в теории эволюции во многом связан с успехами генетики. Синтез достижений этой новой науки с постулатами классического дарвинизма, а также с новыми палеонтологическими, эмбриологическими и другими данными привел 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 дела, 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. имеет место и комбинативная наследственная изменчивость (см. § 72).

Естественный отбор действует на особь, но время жизни особи ограниченно, и вместе с ней исчезает и ее генотип. Однако возникшая у особи мутация может передаваться ее потомкам и таким образом распространяться в популяции (см. § 34). 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, наоборот, выбраковываются естественным отбором. В результате генетические различия между двумя изолированными частями прежде единого вида могут достичь такого

В новый портфель Синтетическая теория эволюции (СТЭ) представляет собой развитие идей классического дарвинизма на основе современных данных. Процессы видообразования согласно СТЭ проходят на уровне популяций, притом главным критерием обособления нового вида служит его репродуктивная изоляция.

уровня, что при последующих встречах особи из этих двух частей не смогут скрещиваться между собой. Следовательно, произошло видообразование — исходный вид разделился на два новых вида.

Эволюционные события, которые происходят в популяциях и приводят в конце концов к появлению новых видов, получили название *микроэволюция*. Все эволюционные изменения на уровне выше вида обозначают как *макроэволюцию*. Предполагается, что в протекании микро- и макроэволюционных процессов принципиальной разницы нет: один вид дает начало двум дочерним видам; те, в свою очередь, дают еще 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 ученым Алексею Николаевичу Северцову и Ивану Ивановичу Шмальгаузену, работавшим в первой половине XX в. Изучение особенностей эволюции различных филогенетических групп позволило выявить два главных направления эволюции — аллогенез и арогенез (рис. 100). Аллогенезом называют развитие группы в границах возможных для ее 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 и выражается в *идиоадаптациях*. К примерам аллогенеза можно отнести разные случаи защитной окраски, многочисленные приспособления растений к опылению насекомыми и т. д.

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 эти направления могут приводить к биологическому прогрессу вида или таксона надвидового уровня.

В ***новый*** *портфель*

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 (см. § 79), полового процесса, резко увеличившего изменчивость организмов (см. § 72), 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 ароморфозам, как развитие органа полета — крыла, четырехкамерного сердца, теплокровности и отделов мозга, управляющих полетом. Приспособления же современных болотных, морских, лесных и других птиц к характерным для них

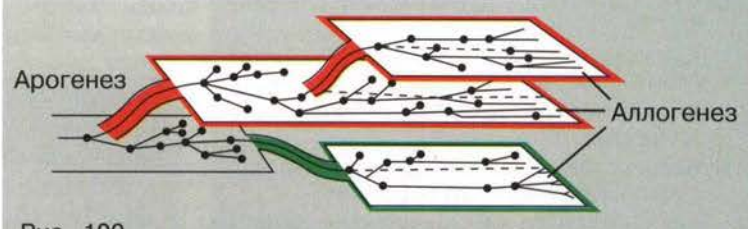


Рис. 100
Схема развития группы в направлении аллогенеза и арогенеза

Макромутациями могут быть мутации, затрагивающие не структурные, а регуляторные гены. Вспомним из § 72 о существовании регуляторных белков, которые могут «запирать» и «отпирать» структурные гены. Они-то и кодируются регуляторными генами. Причем зачастую производимый одним таким геном белок регулирует активность целой группы структурных генов. Понятно, что мутация одного регуляторного гена может привести к существенным изменениям, и если они окажутся благоприятными, то могут закрепиться естественным отбором. Известны примеры структурных перестроек хромосом, которые также могут приводить к масштабным изменениям их обладателей.

экологическим условиям носят уже менее масштабный характер, и эволюция внутри класса птиц может быть классифицирована как аллогенез.

Арогенез не всегда приводит к усложнению морфофизиологической организации, т. е. к морфофизиологическому прогрессу. 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 достигаться 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 водоемы, среди них немало и паразитов. К биологическому прогрессу может приводить и дегенерация, пример чему дают многочисленные процветающие виды паразитов.

Противоположное биологическому прогрессу явление — *биологический регресс* — ведет к понижению численности популяций и числа самих популяций, сокращаются видовые ареалы, уменьшается число видов. В конечном итоге вид или более крупная таксономическая единица вымирает.

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 идет путем 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.

??

- Что такое популяция и вид согласно СТЭ?
- Как идет видообразование в соответствии с постулатами СТЭ?
- В чем состоит отличие арогенеза от аллогенеза?
- Каковы признаки биологического прогресса вида или группы видов?
- Какие мутации не подвержены естественному отбору?
- Что такое макромутации?

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.

В ***новый*** *портфель*

79 ЭВОЛЮЦИЯ ЭУКАРИОТ

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 все 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?

Ключевые слова Панспермия • Автогенез • Белок • РНК • ДНК • Биопоэз • Коацерват • Цианобактерии • Прокариоты • Эукариоты • Клетка • Митохондрии • Хлоропласты

Из старого портфеля Эволюционное учение. Биоразнообразие. Белки и нуклеиновые кислоты. Строение клетки бактерий и эукариот. Метаболизм и фотосинтез (см. § 29—33, 39, 50—51, 77—78 и Биология, 9 кл.).

ГИПОТЕЗЫ О ПРОИСХОЖДЕНИИ ЖИЗНИ. В рамках естественно-научного подхода существуют две точки зрения на происхождение жизни на Земле — **автогенез** и **панспермия**. Согласно первой, жизнь зародилась на определенных этапах эволюции нашей планеты 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) каких-то макромолекул биологического ряда либо спор микроорганизмов. Как и где развилась жизнь, «споры» которой занесены на Землю, сторонники панспермии не объясняют. По мнению большинства ученых, 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 ее возникновения из пылевого облака. Поверхность планеты покрывали активно действующие вулканы и горячие водоемы. Атмосфера того периода состояла из вулканических газов и была насыщена парами воды. Жесткое ультрафиолетовое излучение и грозовые разряды могли стать источниками энергии для синтеза органических веществ из простых неорганических соединений, что неоднократно подтверждалось в лабораторных условиях.

Среди образовывавшихся 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 ДНК, где такая информация записана в виде последовательности нуклеотидных оснований (см. § 29). Способностью к репликации из всех из-

Василий Кандинский. Небесно-голубое

Сам художник полагал, что подобное изображение микромира «позволяет нам почувствовать внутреннюю «пульсацию» вещей нашим разумом». Удалось ли, на ваш взгляд, автору донести свою идею через картину?

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

вестных 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 водоемах древней Земли, что можно считать первым шагом на пути **биопоэза** — 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. Последняя, обладая двухцепочечной структурой, более стабильна и в меньшей степени подвержена внешним воздействиям, чем одноцепочечная РНК. Это гарантирует высокую сохранность записанной на ДНК информации.

Одним из ранних событий в эволюции живого было обособление либо самореплицирующейся РНК, либо уже сформированной белоксинтезирующей системы от внешней среды. Возможно, такие протоорганизмы, или протобионты, имели вид **коацерватов**, с которыми длительное время экспериментировал отечественный ученый 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.

Приведенный сценарий развития событий, конечно, гипотетичен. Далеко не все описанные выше процессы объяснимы с точки зрения современной биохимии. Особенно уязвим момент перехода от РНК и ее репликации к биосинтезу белка. Необходимо учитывать и тот факт, что палеонтологическая летопись не оставила нам никаких следов начальных этапов биопоэза. Поэтому любой вариант, который ученые предлагают сейчас или предложат в будущем, всегда будет носить характер предположения, каким бы реальным он ни выглядел.

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.

В ***новый*** *портфель*

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 сформиро-

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*

вали первую в истории Земли биосферу — прокариотную. Важнейшим ее 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.

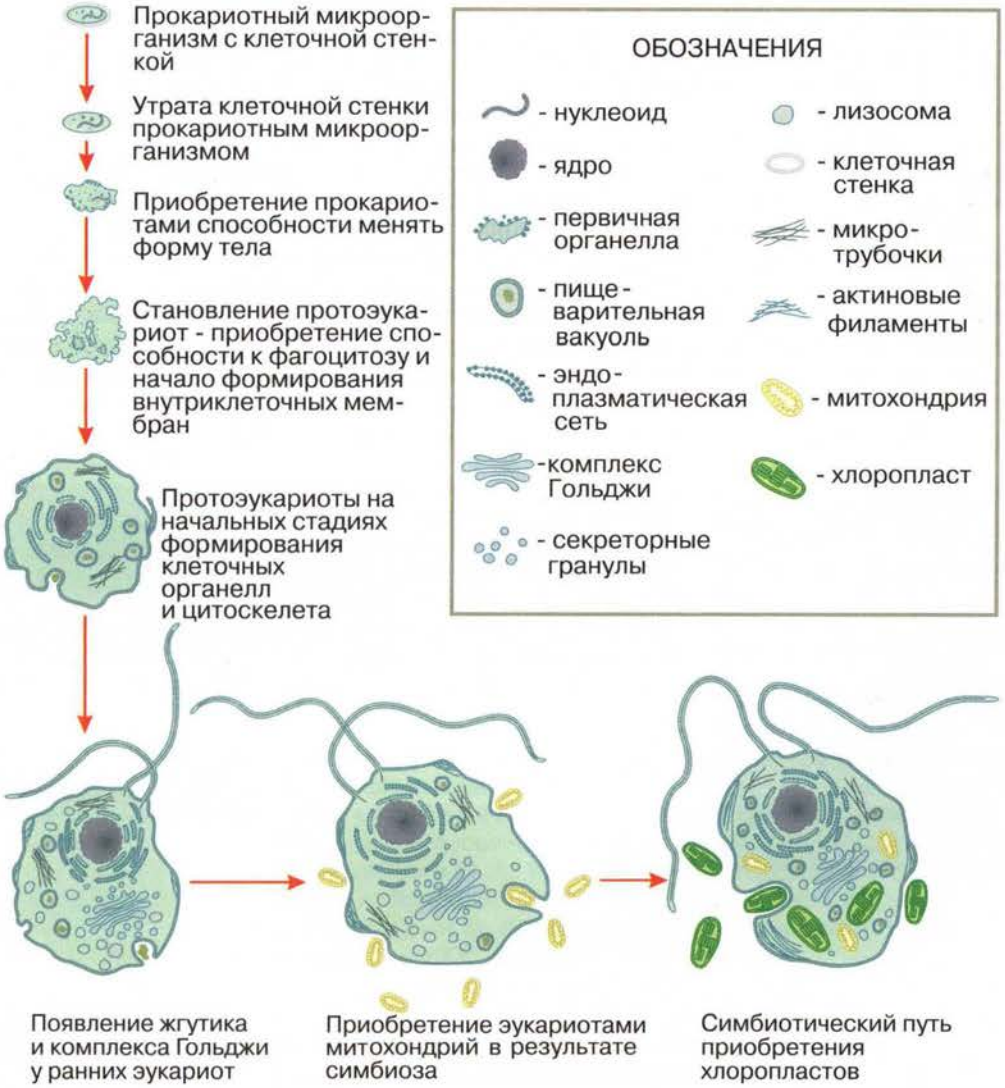


Рис. 101
Реконструкция последовательных этапов становления клетки эукариот

ПОЯВЛЕНИЕ ЭУКАРИОТ. Первые ископаемые эукариоты датируются возрастом примерно в 1,5 млрд лет. Легко подсчитать, что если на развитие прокариот ушло около 500 млн лет, то между первыми прокариотами и первыми эукариотами лежит неизмеримо больший отрезок времени, протяженностью примерно в 2 млрд лет.

Ископаемая летопись не оставила нам следов начальных этапов формирования эукариот. Поэтому, как и в случае прокариот, мы можем только предполагать, каким путем 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 жесткой клеточной стенки. Это позволило перейти к питанию посредством пино- и фагоцитоза (см. § 32), 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 101.

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. § 39). Постепенно симбионт превратился в клеточную органеллу — митохондрию. Хлоропласты формировались сходным способом, 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 (см. § 50). Именно многоклеточные организмы стали играть ведущую роль в формировании биосфер протерозоя и фанерозоя (около 0,6 млрд лет назад — до наших дней).

??

- ▷ Каковы две основные гипотезы возникновения жизни?
- ▷ Какие условия древней Земли способствовали появлению органических соединений?
- ▶ Почему считают, что эволюция жизни началась с РНК?
- ▷ Каков возможный сценарий развития живых существ?
- ▷ Каковы основные этапы эволюции клетки эукариот?

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*

80 РАЗВИТИЕ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

Урок-семинар

Счастлив тот, кто вещей познать сумеет причины... как все из этих первейших произошло и как сам стал юный мир разрастаться.

Вергилий

? 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?

Из старого портфеля Биоразнообразие. Эволюция. Происхождение прокариот и эукариот (см. § 50, 77—78 и Биология, 7—9 кл.). Географическая оболочка (География, 6—7 кл.).

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. Воронцов Н. Н. Эволюция органического мира / Н. Н. Воронцов, Л. Н. Сухорукова. — М.: Просвещение, 1991.
2. Лаппо А. В. Следы былых биосфер / А. В. Лаппо. — М.: Знание, 1987.
3. Яблоков А. В. Эволюционное учение / А. В. Яблоков, А. Г. Юсуфов. — М.: Высшая школа, 2004.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 1

Попробуйте определить, в чем заключается важность открытия бесскелетной фауны конца протерозоя — вендского периода, или **венда** (от 700—650 до 550—590 млн лет назад).

Где и как были открыты самые древние многоклеточные животные, изображенные на рисунке 102? Какие группы животных уже существовали в венде?

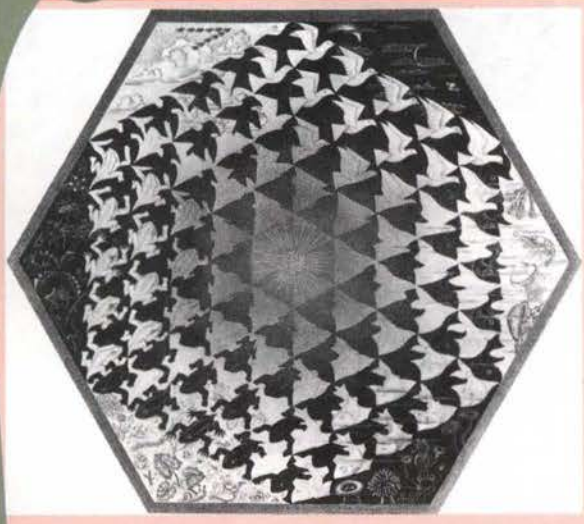
Дополнительные источники информации

1. Биологический энциклопедический словарь. — М.: Советская энциклопедия, 1986.
2. Галактионов К. В. Современное многообразие живого и пути его становления / К. В. Галактионов. — СПб., 2002.
3. Федонкин М. А. Крупнейшее месторождение вендской фауны // Природа. — 1981. — № 5. — С. 94—102.
4. Федонкин М. А. Холодная заря животной жизни // Природа. — 2000. — № 9. — С. 3—11.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 2

Попытайтесь разобраться в проблеме «кембрийского взрыва эволюции». Был ли он на самом деле или это всего лишь палеонтологический артефакт?

Почему возникли представления о «кембрийском взрыве эволюции»? Какие организмы населяли водоемы кембрия? (Обратите внимание на их скелет!) Каких животных можно считать предками кембрийских? Можно



Мориц Эшер. VERBUM

Какую теорию развития жизни можно проиллюстрировать литографией Эшера?
Мы живем 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.

МЫСЛЬ И ОБРАЗ

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 повлиял их выход на сушу на организацию 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 водоемы? 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: Энциклопедический словарь школьника / Сост. П. Кошель.. — М.: ОЛМА-пресс, 2001.
2. Всемирная энциклопедия: Биология / Гл. ред. М. В. Адамчик, В. В. Адамчик. — Минск: Современный литератор, 2004.
3. Козлов М. А. Мир животных: Зоологическая энциклопедия. — СПб.: Золотой век: Азбука-классик, 2004.

Рис. 102
Животные венда

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 4

Обсудите формирование животных и растений в мезозое. Попытайтесь проанализировать 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 ее переход в кайнозойскую?

Какие группы наземных растений и животных доминировали в мезозое, и какие изменения в их составе произошли в конце мела и начале кайно-

зойской 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. Биологический энциклопедический словарь. — М.: Советская энциклопедия, 1986.
2. Жизнь животных. В 7 т. — 2-е изд., перераб. — М.: Просвещение, 1988. — Т. I—VII.
3. Жизнь растений. В 6 т. — М.: Просвещение, 1982. — Т. IV—VI.
4. Татаринов Л. П. Очерки по теории эволюции /Л. П. Татаринов. — М.: Наука, 1987.
5. Хлебосолов Е. Н. Лекции по теории эволюции / Е. Н. Хлебосолов. — М.: Перспектива, 2004.
6. Удивительная планета Земля. Иллюстрированный атлас эволюции. — Ридерс Дайджест, 2003.
7. Иорданский Н. Н. Эволюция жизни: учеб. пособие для вузов / Н. Н. Иорданский. — М.: Academia, 2001.

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 все то, что вы обсуждали на семинаре.

Дополнительные источники информации

Все рекомендованные выше.

ПОДВЕДЕНИЕ ИТОГОВ

Жизнь на нашей планете прошла длительный путь эволюции, насчитывающий около 4 млрд лет. За это время появлялись все 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 еще не выяснены современной наукой.

Развитие живого сопровождалось последовательной сменой биосфер: от первой, прокариотной и до современной, сформировавшейся в четвертичном периоде. Итак, 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 тем видом, который вымер).

*В **новый** портфель*

81 ЭВОЛЮЦИЯ ЧЕЛОВЕКА

Урок-лекция

Сколь схож с человеком зверь гнусный обезьяна.

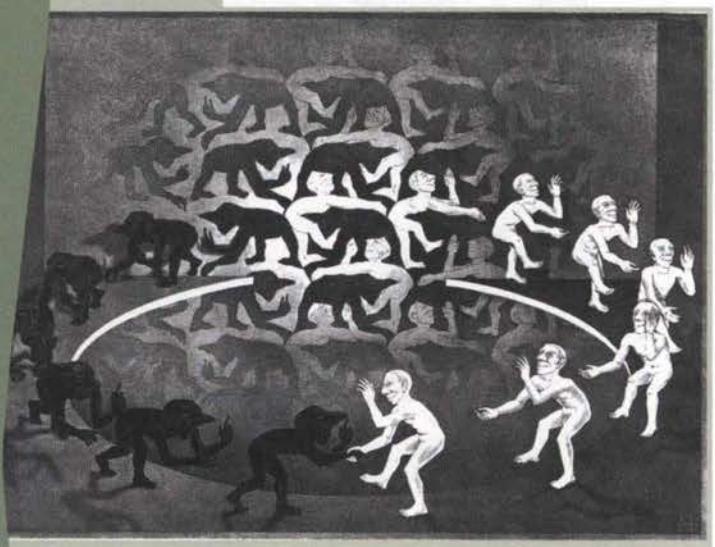
Ж.-Б. Ламарк

? Откуда пошли гоминиды? Какую роль в эволюции человека сыграли австралопитеки? Какие факторы сыграли важную роль в эволюции человека? Кто были прямые предки человека разумного?

Ключевые слова Приматы • Гоминиды • Австралопитеки • Человек умелый • Человек прямоходящий • Архантроп • Палеоантроп • Неандерталец • Человек разумный

Из старого портфеля Эволюционное учение. Биоразнообразие (см. § 50, 77—78 и Биология, 9 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 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 (см. § 77), и многое другое. Однако до настоящего времени остается неясным, какой представитель человекообразных обезьян дал начало **гоминидам** — семейству, единственным ныне живущим представителем которого является человек разумный.



Мориц Эшер. Встреча

ЭВОЛЮЦИЯ АВСТРАЛОПИТЕКОВ. В 1924 г. Раймонд Дарт обнаружил в Южной Африке останки существа, которое сочетало черты обезьяны и человека. Объем мозга — обезьяний, 400—500 см^3, 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 *Australopithecus africanus*, т. е. южной обезьяной из Африки (рис. 103).

Исследования в Южной Африке в 20—30-х гг. XX в. позволили обнаружить много ископаемых останков **австралопитеков** (от лат. *australis* — южный и греч. *pitecus* — обезьяна). 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 бойсов). Современные методы анализа датируют возраст останков массивных австралопитеков 2,3—1,3 млн лет, а грациальных — 3—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. Поиски ископаемых останков австралопитеков на северо-востоке Африки не прекращаются, и к настоящему времени найдены многочисленные фрагменты скелетов особей того же вида, что и Люси, а также еще 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 кореньев, бросание камней, перенос детенышей 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 еще делать каменных орудий, но, возможно, изготавливали какие-то примитивные орудия из палок, рогов и костей животных.

Массивные австралопитеки приспособились к использованию твердой пищи (семена злаков, твердые плоды деревьев), которые доступны во все сезоны. Это нашло отражение в особенностях строения их зубов и черепа. Грациальные же научились в засушливые сезоны добывать коренья и, по-видимому, начали использовать в пищу мясо (вначале это были трупы животных). Видимо, именно от грациальных австралопитеков и берут начало древние представители рода *Homo*.

Рис. 103
Изменение пропорций черепа в ходе эволюции

ПЕРВЫЕ ПРЕДСТАВИТЕЛИ РОДА HOMO. 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 нем 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 1,6—2,4 млн лет назад. Объем его мозга достигал 500—650 см^3,

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 своем происхождении человек, скорее всего, связан с грациальными австралопитеками.

В **новый** *портфель*

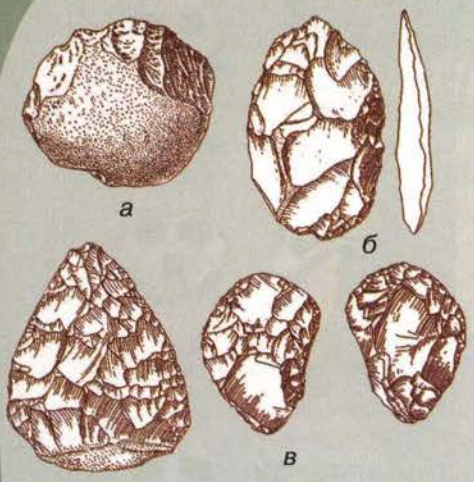


Рис. 104
Орудия труда предков человека: человека умелого (*а*); человека прямоходящего (*б*); неандертальца (*в*)

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. 104, *а*). Вместе с его останками обнаружили грубые орудия из гальки, отколотой с одного края, и кости животных, расколотые этими орудиями для добывания мозга.

Следующий представитель рода *Homo* — *Homo erectus* (человек прямоходящий, **архантроп**) появился около 1,8 млн лет назад. Объем головного мозга человека прямоходящего составлял 900—1000 см^3, что в два раза превосходит объем мозга человека умелого и достигает нижней границы, известной для нормально развитого мозга современного человека. По сравнению с человеком умелым у человека прямоходящего произошли существенные изменения жевательного аппарата, 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 определенно. Свидетельство тому — толстый слой золы в пещерах, где обнаружены останки некоторых представителей этого вида.

Рост человека прямоходящего достигал 1,6 м, вес — 65 кг. Для него уже характерны значительно более совершенные орудия труда (рис. 104, *б*) — различные каменные **рубила**. Ими пользовались при разделке добычи, которой могли быть трупы или добытые мелкие животные, для выкапывания съедобных кореньев и т. п. По-видимому, человек прямоходящий уже владел речью, хотя и достаточно примитивной. Поздние находки этого вида датируются 400 тыс. лет, хотя на Яве он вымер около 50 тыс. лет назад.

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.

В ***новый*** *портфель*

МИР ПАЛЕОАНТРОПОВ. **Палеоантропами** обобщенно 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. Объем мозга палеоантропов превышал 1100 см^3, они господствовали на планете вплоть до появления неоантропов. В настоящее время среди палеоантропов выделяют несколько видов, самый известный из которых **неандерталец**. Не вызывает сомнений, что один из палеоантропов дал начало и виду *Homo sapiens* (**человек разумный**), к которому относятся все ныне живущие люди.

??

- ▷ Каково местоположение человека разумного в современной системе животного мира?
- ▷ Какие биологические изменения позволили предкам человека использовать орудия труда и огонь?
- ▷ Какие факторы могли повлиять на появление представителей рода *Homo*?

82 ФОРМИРОВАНИЕ ЧЕЛОВЕКА РАЗУМНОГО

Урок-семинар

Ты вопрос задаешь мне: что есть человек?
И вопрос не простой и нелегкий ответ.
Человек — это знак из пучин мирозданья,
Он всплывет на мгновенье 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?

Из старого портфеля Эволюционное учение. Биоразнообразие (см. § 49, 77—79 и Биология, 9 кл.).

ЦЕЛЬ СЕМИНАРА Выяснить, как шла эволюция человека разумного и какие факторы сыграли первостепенную роль в этом процессе.

ПЛАН СЕМИНАРА

1. Неандерталец и его связь с эволюцией человека разумного.
2. Гипотезы о возникновении человека разумного.
3. Человек и его расы.
4. Эволюция человека разумного.

Необходимые источники информации

1. Вишняцкий Л. Б. Человек в лабиринте эволюции / Л. Б. Вишняцкий. — М.: Весь Мир, 2004.
2. Джохансон Д. Люси. Истоки рода человеческого / Д. Джохансон, М. Иди. — М.: Мир, 1984.
3. Эйдельман Н. Я. Ищу предка / Н. Я. Эйдельман. — М.: Молодая гвардия, 1970.
4. Дольник В. Р. Непослушное дитя биосферы. Беседы о человеке в компании птиц и зверей / В. Р. Дольник. — СПб.: Черо-на-Неве, Паритет, 2003.
5. Яблоков А. В. Эволюционное учение / А. В. Яблоков, А. Г. Юсуфов. — М.: Высшая школа, 2004.
6. Интернет-сайт «Происхождение и эволюция человека» www.macroevolution.narod.ru/human.htm

Кто наш непосредственный предок? Где и как он сформировался? Почему именно человек разумный стал единственным видом гоминид на Земле? Эти вопросы издавна волнуют человечество. Окончательного ответа на них пока что нет. Однако накопленные к настоящему времени антропологами и биологами материалы позволяют пролить свет на ранние этапы эволюции современного человека. Попробуем их проследить.

ТЕМА ДЛЯ ОБСУЖДЕНИЯ 1 Когда появился, как выглядел и где обитал неандерталец? Неандерталец — самостоятельный вид или подвид человека разумного?

Чтобы ответить на второй вопрос, попробуйте сравнить, используя приведенные выше литературные источники, облик неандертальца и челове-

ка 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 приведенных выше источниках сведения об образе жизни неандертальцев, способах добычи пищи, обрядах захоронения. Какими орудиями труда пользовался неандерталец (рис. 104, *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» обеих 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 // В мире науки. — 1991. — № 2. — С. 54—61.
2. Уилсон А. К., Канн Р. Л. Недавнее африканское происхождение людей. // В мире науки. — 1992. — № 6. — С. 8—20.

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 привлеките к обсуждению 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 ее 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 // Природа. — 1998. — № 9. — С. 87—99.

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

Неандерталец представляет собой самостоятельный вид палеантропов. На протяжении около 5–10 тыс. лет (примерно 30—40 тыс. лет тому назад) он сосуществовал на территории современной Евразии с видом *Homo sapiens* и постепенно вымер, скорее всего, не выдержав конкуренции со своим более прогрессивным родичем. Палеонтологические и молекулярно-генетические данные свидетельствуют в пользу того, что человек разумный произошел из одной популяции, появившейся в Африке около 160 тыс. лет назад, а затем расселился по всему свету, вытесняя предшествующие формы. Расселение человека по Земле небольшими группами привело к образованию изолированных популяций, что способствовало формированию современных рас.

83 КОЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДЫ И ЦИВИЛИЗАЦИИ

Урок-конференция

Важнейшая задача цивилизации — научить человека мыслить.

Т. Эдисон

?

В чем причины экологического кризиса? Что такое ноосфера? В чем проблема 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.

Появившаяся на Земле жизнь достаточно быстро приобрела такую силу, что стала активно преобразовывать окружающую среду. Современная атмосфера, гидросфера, земная кора в значительной степени сформировались под влиянием жизни, биосферы.

Около 2 млн лет назад на Земле сформировался новый космический феномен — разум. Стала развиваться человеческая цивилизация. Сначала цивилизация робко приспосабливалась к условиям среды, а затем стала перестраивать эту среду, приспосабливая ее к своим потребностям. По словам В. И. Вернадского, человечество становится «геологической силой». Оставаясь частью природы, человек старался поставить себя выше природы, подчинить ее себе. Результатом такого поведения человека явился нарастающий экологический кризис, грозящий перерасти в экологическую катастрофу. Истребляются сотни видов живых организмов, вырубаются леса — легкие планеты, миллиарды тонн отходов человеческой деятельности загрязняют почву, гидросферу, атмосферу. Природа не остается в долгу. За последние десятилетия в несколько раз возросло ежегодное количество природных катаклизмов и техногенных катастроф, изменился климат на планете.

Лишь к концу XX в. человечество начало осознавать, что дальнейшее развитие цивилизации связано не с подчинением природы или противопоставлением ей человека, но с совместным скоррелированным развитием, с коэволюцией природы и человека.

Идеи коэволюции были сформулированы еще в середине XX в. Владимиром Ивановичем Вернадским, Пьером Тейяром де Шарденом и др. Были высказаны идеи ноосферного развития, где ноосфера может трактоваться как сфера разумного, гармонизированного 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. Медоуз Д. Х. За пределами роста / Д. Х. Медоуз, Д. Л. Медоуз, И. Рандерс. — М.: Мир, 1991.
2. Моисеев Н. Н. Современный антропогенез и цивилизационные разломы / Н. Н. Моисеев. — М.: МНЭПУ, 1994.
3. Недел Б. Наука и окружающая среда / Б. Недел. — М.: Мир. 1993.

СООБЩЕНИЕ 2 В. И. Вернадский о ноосфере.

Источники информации

1. Вернадский В. И. Научная мысль как планетарное явление / В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1991.
2. Казначеев В. П. Учение В. И. Вернадского о биосфере и ноосфере / В. П. Казначеев. — Новосибирск, 1989.
3. Вернадский В. И. Живое вещество и биосфера / В. И. Вернадский. — М.: Наука, 1994.

СООБЩЕНИЕ 3 Человек и биосфера.

Источники информации

1. Моисеев Н. Н. Человек и ноосфера / Н. Н. Моисеев. — М.: Молодая гвардия, 1990.
2. Моисеев Н. Н. Восхождение к разуму / Н. Н. Моисеев. — М., 1993.

СООБЩЕНИЕ 4 Устойчивое развитие и коэволюция человека и природы.

Источники информации

1. Моисеев Н. Н. Современный рационализм / Н. Н. Моисеев. — М., 1995.
2. Лисичкин В. А. Закат цивилизации, или Движение к ноосфере / В. А. Лисичкин, Л. А. Шелепин, Б. В. Боев. — М., 1997.
3. Урсул А. Д. Переход России к устойчивому развитию / А. Д. Урсул. — М., 1998.

СООБЩЕНИЕ 5 Проект.

ОБРАЗ И МЫСЛЬ

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 еще раз, но уже экспериментальным путем.

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 необязательно уметь рисовать. Вы можете работать группами, используя технику коллажа: нужное изображение создается при помощи других изображений (прежде всего репродукций произведений художников) и даже предметов, наклеенных (прикрепленных) на большой лист бумаги, картона, доску и т. п. Авторы напоминают, что для собственного произведения не рекомендуется использовать страницы из книг или альбомов. Лучше взять иллюстрации или их ксерокопии из журналов.
3. Наверху постера напишите слоган, отражающий основную идею созданного вами произведения. Обсудите созданные постеры с одноклассниками.

Развитие цивилизации возможно только в условиях гармоничной коэволюции человека и природы.

В ***новый*** *портфель*

КАК ПОДГОТОВИТЬ РЕФЕРАТ

Происхождение: нем. Referat — доклад < лат. Refferre — докладывать. Найдите в толковом словаре значение этого термина.

Поскольку в словарях и при употреблении этого слова в различных контекстах допускаются различия в его понимании, то давайте остановимся на следующем определении: **реферат — краткое изложение научной информации по определенной теме.**

Написание реферата — дело настолько интересное, что, занявшись им, обо всем 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, мы будем рады этому.

Советы и рекомендации по подготовке реферата

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 разных предметных областей. Тема должна быть значимой, актуальной, содержать элементы новизны, ориентировать вас на максимально самостоятельное, творческое изучение рассматриваемого вопроса
Литературный обзор, другие источники информации	Чтобы получить представление об основных вопросах избранной темы, **начинать** лучше с общих и справочных изданий, например БСЭ, Аванта$^{+}$, Большая энциклопедия Кирилла и Мефодия (на CD) и др. **Затем** перейти к научно-популярной литературе по теме, статьям из сборников и научно-популярных журналов («Популярная механика», «Наука и жизнь», «Техника — молодежи», «Знание — сила», «Химия и жизнь», «Естествознание в школе», «Юный техник» и др.). Для поиска нужной литературы вам необходимо **пойти в библиотеку** и воспользоваться ее фондами и справочно-библиографическим аппаратом. Также **можно использовать** ресурсы Интернет, материалы музейных экспозиций, видеоматериалы, собственные исследования или наблюдения
Составление плана реферата	Итак, у вас уже есть список источников и тема реферата. Следующий этап работы: **сформулировать для себя проблему**, которую вы будете раскрывать в соответствии с темой реферата. Далее составьте план реферата, который позволит вам изложить материал логично, последовательно, не повторяясь. В план должны обязательно войти разделы: введение, основная часть и заключение. Лучше составить расширенный план: основные пункты, названия которых представляют собой

Продолжение

Составление плана реферата	законченную мысль, и второстепенные, которые раскрывают основные пункты плана. Ограничивайте себя. Лучше глубоко разобрать несколько вопросов по выбранной теме, чем поверхностно упомянуть множество проблем, имеющих к ней какое-либо отношение
Обработка и накопление материала	После прочтения отобранной литературы у вас появятся различные виды записей: конспекты, тезисы, выписки, цитаты. Также составляется словарь терминов (нельзя использовать в тексте слова, термины, значения которых вам неизвестны), справки о персоналиях, которые вы потом включите в раздел «Примечания» или оформите в виде сносок внизу страницы. В процессе изучения материала составляйте хронологические таблицы, схемы, диаграммы, подбирайте рисунки, фотографии — это поможет вам написать содержательный реферат
Написание текста	Когда материал 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 учеником конкретной темы в контексте всего предмета, умение правильно соотнести критический, научный, практический, цитатный материал и собственный взгляд и суждения, умение привлекать цитируемый материал для подтверждения собственных мыслей (но при этом важно не перегружать текст цитатами). Цитаты, которые вы будете использовать в реферате, заключаются в кавычки и воспроизводятся точно по тексту
Объем реферата	Рекомендуемый объем реферата — 10—15 страниц, но к школьному реферату обычно предъявляются менее строгие требования (минимум 5 страниц). Страницы нумеруются, начиная со второй, арабскими цифрами. Текст печатается на одной стороне листа (шрифт—12, интервал—1,5). В объем реферата входят: оглавление, введение, основная часть, заключение, список литературы. Примечания и приложения в объем реферата не входят, но входят в общую нумерацию

Идем 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, ее объем, содержание, характер изложения... Рыться в книгах (каких угодно) — это лучший способ находить интересные книги, интересные вопросы, интересные области знания...» (Рубакин Н. А. Практика самообразования).

Библиотека. Происхождение: лат. bibliotheca < греч. bibliotheke: biblio — книга и theke — склад, хранилище.

Библиотека — учреждение, собирающее и хранящее произведения печати и письменности для общественного пользования, а также осуществляющее справочно-библиографическую работу.

Итак, вы пришли в библиотеку. В одних библиотеках есть открытый доступ к фонду (книгу можно самому найти на полке и взять ее домой), а в других открытый доступ отсутствует, и книгой можно пользоваться только в читальном зале библиотеки. И в том и другом случае, чтобы найти необходимую информацию, вам придется обратиться к справочно-библиографическому аппарату, важнейшей частью которого является система библиотечных каталогов.

В библиотеке существует несколько видов каталогов. Расскажем о некоторых из них.

Алфавитный каталог (АК): в нем библиографические записи располагаются в алфавитном порядке фамилий индивидуальных авторов, наименований коллективных авторов 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 отвечает на вопрос, какие книги по определенной теме есть в библиотеке. Чтобы найти необходимое издание в **СК**, сначала ищем нужный раздел. В разделе источники располагаются в порядке авторов и заглавий. **СК** используем в том случае, если не известны ни автор, ни заглавие источника.

Алфавитно-предметный указатель (АПУ) к **СК** — это вспомогательный аппарат, содержащий алфавитный перечень предметных рубрик, раскрывающих содержание отраженных 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, обеспечивает доступ к ресурсам каталога не только пользователям данной библиотеки, но и удаленным клиентам.

Список WEB — серверов некоторых федеральных библиотек

- Российская национальная библиотека (РНБ) — www.nlr.ru
- Российская государственная библиотека (РГБ) — www.rsl.ru
- Центральная городская публичная библиотека им. В. В. Маяковского — www.pl.spb.ru
- Государственная научная педагогическая библиотека им. К. Ф. Ушинского (ГНПБ) — www.redline.ru:80/orgs-edu/ushi.html
- Государственная публичная историческая библиотека — www.shpl.ru
- Детская библиотека Ленинградской области — www.deti.spb.ru

После того как вы нашли необходимый источник в каталоге, нужно **оформить листок читательского требования,** на котором указать шифр, автора и заглавие. Пример шифра: 65
Р451

Шифр располагается в верхнем левом углу. По нему либо вы сами найдите, либо библиотекарь найдет нужную вам книгу.

Если вам нужна статья из журнала, то на листке требования вы указываете название журнала, номер, год.

Не забывайте, что за помощью можно обратиться к любому служащему библиотеки.

Оформление реферата

- **Титульный лист** →
  - — наименование учебного заведения
  - — название работы, предмет
  - — ФИО автора, класс
  - — город и год
- **Оглавление** →
  - — 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
  - — составляет одну десятую часть от общего объема работы
- **Основная часть** →
  - — разделяется на главы и параграфы
  - — дает представление о рассматриваемой проблеме с разных точек зрения, об используемых авторами источниках и излагает собственную позицию автора
  - — показывает связь рассматриваемого вопроса с другими областями знаний, отраслями промышленности и т. п.
- **Заключение** →
  - — 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 (по объему не превышает введение)

- Список литературы →
  - — отражает степень изученности проблемы (в нем фиксируются только те источники, с которыми работал автор)
  - — состоит из двух частей: в первой — печатные издания (книги, статьи), во второй — электронные издания, ресурсы Интернет, видеоматериалы, интервью
  - — печатается в алфавитном порядке фамилий авторов
  - — печатаются ФИО автора, название, издательство, год издания (5—10 источников)
- Приложения →
  - — включает в себя 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 →
  - *— данный раздел может отсутствовать в реферате, если примечания оформлены как подстрочные сноски, расположенные внизу страницы под чертой*
  - — в раздел «Примечания» могут входить словарь специальных терминов, справки о персоналиях

Как оформить список литературы

Данный раздел реферата отражает степень изученности проблемы. В нем фиксируются только те источники, с которыми работал автор. Главное правило, которого надо придерживаться, заключается в том, что список источников составляется в алфавитном порядке фамилий авторов или заглавий. Приведем несколько примеров.

Книга одного автора:

Спасский Б. И. Физика в ее развитии / Б. И. Спасский. — М.: Просвещение, 1979.

Книга, написанная несколькими авторами (до трех авторов):

Акоста В. Основы современной физики / В. Акоста, К. Кован, Б. Грэм. — М.: Просвещение, 1981.

Книга написана авторским коллективом более трех человек:

Готт В.С. Категории современной науки / В. С. Готт [и др.]. — М., 1984.

Книга написана авторским коллективом, но под редакцией одного из них:

Биографии великих химиков / Под ред. К. Хайнига. — М.: Мир, 1981.

Статья из журнала:
Белиловская М. Алхимик света // Популярная механика. — 2003. — № 11.
Материал нашли в сети Интернет:
Ильинский Р. Мираж — это реально. — цит. по www.jtdigest.narod.ru/dig2_01/miragel.htm

Теперь давайте расставим все в алфавитном порядке и пронумеруем:

1. Акоста В. Основы современной физики / В. Акоста, К. Кован, Б. Грэм. — М.: Просвещение, 1981.
2. Белиловская М. Алхимик света // Популярная механика. — 2003. — № 11.
3. Биографии великих химиков / Под ред. К. Хайнига. — М.: Мир, 1981.
4. Готт В. С. Категории современной науки / В. С. Готт [и др.]. — М., 1984.
5. Спасский Б. И. Физика в ее развитии / Б. И. Спасский. — М.: Просвещение, 1979.
6. Ильинский Р. Мираж — это реально. — цит. по www.jtdigest.narod.ru/dig2_01/miragel.htm

Внимание: электронные издания, ресурсы Интернет, видеоматериалы, интервью размещаются после печатных изданий (алфавитный порядок также должен сохраняться).

Итак, список литературы (условный) готов. Мы расставили источники в алфавитном порядке авторов или заглавий. Указали авторов, заглавия, место издания, издательство и год издания.

Желаем удачи и творческих успехов в написании реферата!

Предлагаем вам проверить себя. Расположите эти пункты в том порядке, в котором вы бы стали действовать при написании реферата. Затем сравните полученную последовательность с ключом. Чем больше у вас совпадений, тем лучше вы себе представляете, как это делается.

1. Взять нужную книгу и выписать из нее необходимую информацию.
2. Скачать из Интернета готовый реферат.
3. Купить сборник рефератов или взять его в библиотеке и списать реферат.
4. Выбрать тему реферата.
5. Составить краткий план реферата.
6. Сформулировать для себя проблему, которую вы будете раскрывать в соответствии с темой реферата.
7. Попросить кого-нибудь (маму, папу, друга-студента, репетитора и др.) написать реферат.
8. Выбрать источники информации, ограничиваясь учебниками, домашней библиотекой, Интернетом.
9. Сходить в библиотеку, изучить каталоги, выбрать 5—6 (10—15) источников информации (книги по теме, статьи, периодические издания).
10. Прочитать отобранную литературу, сделать закладки в нужных местах.
11. Написать реферат.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Абсолютно черное тело 62
Австралопитек 252
Автогенез 245
Автоколебание 212
Адаптация 239
Адроны 75
Антикодон 155
Апоптоз 227
Ароморфоз 243
Архантроп 254
Астероид 81
Астрономическая единица 127
Атмосфера 237
• вторичная
• первичная
Атом 131
АТФ 117

Б

Белки
• белки — молекулярные моторы 196
Белый карлик 232
Биологическая система 86
Биологический прогресс 244
Биологический регресс 244
Биопоэз 246
Биосфера 89
Бифуркация 211
Бластомеры 225
Бластула 225
Большой взрыв 229
Брожение 118

В

Вакуоль 102
Венд 249
Вероятность 71, 187
Взаимодействия
• короткодействующее 75
• сильное 75
• слабое 75
• фундаментальные 58
Волна
• упругости 172
• электромагнитная 171
Второй закон (начало) термодинамики 184

Г

Галактика 227
Гаметы 220
Гаструла 225
Гаструляция 225
Гидростатическое равновесие 232
Гипотеза 17
Гликолиз 118
Глобула 91
Гоминиды 252
Гомологичные хромосомы 220
Гравитационная неустойчивость 231
Гравитационное дифференцирование 236

Д

Дедукция 28
Денатурация 95
Динамика 164
Дифференцировка 225
Длина волны 175
ДНК 92
• репликация 93
Дробление 225

Е

Естественный отбор 239
Естествознание 6

Ж

Жизненный цикл 223

З

Закон
• сохранения импульса 122
• сохранения момента импульса 122
• Хаббла 229
Замкнутая система 114
Зигота 220

И

Изменчивость
• комбинативная 220
Изотропность пространства 122
Ингибитор 192
Индивидуальное развитие (онтогенез) 224
Индукция 28
Инерциальная система отсчета 164
Интенсивность 63
Интерференция 175
Искусственный отбор 239

К

Капсид 103
Катализатор 192

Квант 67
Квантовая теория 23, 66
Кварк 79
Кинематика 163
Кинетическое уравнение 191
Клеточная дифференцировка 24
Клеточная мембрана 97
Клеточная теория 96
Клеточное дыхание 118
Клон 227
Коацерват 246
Кодон 154
Комета 82
Комплекс Гольджи 98
Консументы 108
Концепция
• близкодействия 59
• дальнодействия 59
• континуальная 52
• корпускулярная 52
Корпускула 133
Корпускулярная теория 133
Корпускулярно-волновой дуализм 72
Космогония 231
Красная граница фотоэффекта 68
Красное смещение 229
Креационизм 238

Л

Лептоны 75

М

Макромир 46
Математическая статистика 187
Материальная точка 163
Мегамир 46
Межчастичные силы 135
Мезодерма 226
Метеороид 81
Метод
• теоретический 26
• эмпирический 26
Мейоз 220
Механическое движение 162
Микромир 46
Миофибриллы 197
Митоз 99
Митохондрии 98
Моделирование 32
Момент импульса 115
Монголоидная 252
Моноцентризм 256
Мутации 242

Н

Наблюдение 16
Нарушение симметрии 123
Наследственность 87
Неандерталец 254
Нейтрино 75
Неоантроп 254
Необратимое движение 186
Нормальная звезда 232
Нуклеоид 103

О

Обмен
• пластический 118
• энергетический 118
Обращение времени 122
Однородность времени 122
Однородность пространства 122
Онкогены 104
Онтогенез 224
Оплодотворение 222
Органеллы 97
Открытая система 213
Относительная атомная масса 139
Относительность движения 162

П

Палеоантроп 254
Панспермия 241
Парадигма 39
Пептидная связь 91
Первоматерия 132
Первый закон (начало) термодинамики 184
Переносчики взаимодействий 79
Период волны 175
Пищевые (трофические) цепи 109
Плазматичесая мембрана 97
Планетарная модель атома 69
Пластиды 101
Поле 54
• гравитационное 55
• фундаментальное 58
• электромагнитное 57
Полицентризм 256
Популяция 89, 105
Постоянная Планка 67
Примат 252
Принцип суперпозиции волн 175
Продуценты 108
Прокариоты 96
Протозвезды 232
Процесс
• адиабатный 183
• изотермический 183

Р

Работа выхода 68
Радиоактивность 199

Размножение
• бесполое 220
• вегетативное 222
• половое 220
Разрешение глаза 49
Редукционизм 9
Редуценты 108
Реликтовое излучение 230
РНК 92
• матричная (информационная) 93
• рибосомная 93
• транспортная 93
Рождаемость 105

С

Самоорганизация 207
Сила
• магнитная 57
• электромагнитная 57
Симметрия
• зеркальная 122
• трансляционная 122
Синергетика 207
Синтетическая теория эволюции (СТЭ) 242
Система координат 163
Система отсчета 162
Систематика 27
Системный подход 10
Скорость 191
Смертность 105
Солнечный ветер 81
Состояние системы 169
Спектр
• линейчатый 63
• сплошной 63
Стрела времени 206
Структура белка 91
Структурные гены 154
Субстрат 92

Т

Тепловое излучение 63
Термодинамика 184
Траектория движения 163
Транскрипция 155
Трансляция 155

У

Уровни организации жизни
• молекулярно-генетический 87
• онтогенетический 88
• популяционно-видовой 89
• экосистемный 89

Ф

Фазы фотосинтеза
• световая 119
• темновая 119
Флуктуации 210
Фотолиз 119
Фотон 68
Фотосинтез 119

Х

Хемосинтез 120
Хромосома 98, 221

Ц

Царство
• Археи 151
• Бактерии 151
• Грибы 152
• Животные 152
• Монера 151
• Протисты 152
• Растения 152
Целостный подход 10
Цитоскелет 98

Ч

Частицы
• тождественные 77
• элементарные 78
Черные дыры 232
Численность 105

Э

Экосистема 89, 108
Эктодерма 226
Элементарные качества 132
Энергетический уровень 70
Энтодерма 226
Энтропия 185
Эукариоты 96
Эфир 25, 181
Эффект Доплера 229

Я

Ядро 98

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. Структура естественно-научного знания: многообразие единства

§ 1. Естествознание как познавательная деятельность ... 6
§ 2. Природа в зеркале науки ... 8
§ 3. Естествознание в системе культуры ... 12
§ 4. Критерии научного знания ... 14
§ 5. Экспериментальные методы в естественных науках ... 16
§ 6. Учимся наблюдать ... 18
§ 7. Экспериментатор, прибор, результат ... 20
§ 8. Великие эксперименты в естественных науках ... 24
§ 9. Теоретические методы исследования ... 26
§ 10. Учимся классифицировать и систематизировать ... 29
§ 11. Моделирование в науке ... 32
§ 12. Естествознание и религиозная традиция ... 35
§ 13. Традиции и революции в естествознании ... 28
§ 14. Эксперимент. Теория. Практика ... 41

Глава 2. Структуры мира природы: единство многообразия

§ 15. Масштабы Вселенной ... 46
§ 16. Средства изучения микромира и мегамира ... 49
§ 17. Дискретность и непрерывность в природе ... 52
§ 18. Поле как способ описания взаимодействия ... 55
§ 19. Фундаментальные поля как составляющие материи ... 58
§ 20. Взаимодействие поля и вещества. Цвет и спектры ... 61
§ 21. Дискретность и непрерывность: эксперимент ... 64
§ 22. Квантовые (корпускулярные) свойства полей ... 66
§ 23. Волновые (полевые) свойства частиц ... 69
§ 24. Корпускулярно-волновой дуализм ... 72
§ 25. Фундаментальные взаимодействия в микромире ... 74
§ 26. Единство многообразия. Микромир ... 77
§ 27. Единство многообразия. Мегамир ... 80
§ 28. Солнечная система и планетарная модель атома ... 83
§ 29. Единство многообразия. Биологические системы ... 86
§ 30. Молекулярная структура живого ... 90
§ 31. Белки и нуклеиновые кислоты ... 94
§ 32. Клетка как структурная основа живых организмов ... 96
§ 33. Разнообразие форм жизни ... 101
§ 34. Популяции и процессы их регуляции ... 105
§ 35. Принципы организации экосистем ... 108
§ 36. Биосфера ... 112
§ 37. Наиболее общие законы природы. Законы сохранения ... 114
§ 38. Энергетика живой клетки ... 117
§ 39. Единство природы. Симметрия ... 121
§ 40. Симметрия в искусстве и науке ... 124
§ 41. Материальное единство мира ... 126

Глава 3. От структуры к свойствам

§ 42. Атомы и элементы. Два решения проблемы генезиса свойств веществ ... 130
§ 43. Второе рождение атомистики ... 133
§ 44. Химическая революция эпохи Просвещения ... 136
§ 45. «Новая система химической философии» Д. Дальтона ... 139
§ 46. Генезис свойств веществ и классическая атомно-молекулярная теория ... 142
§ 47. Периодический закон Д. И. Менделеева ... 144
§ 48. Состав — структура — свойства ... 146
§ 49. Биологическая систематика ... 148
§ 50. Современные представления о многообразии живого ... 150

§ 51. Как реализуется генетическая информация 154
§ 52. Зависимость свойств объектов от структуры и состава — опыт искусства 157

Глава 4. Природа в движении, движение в природе
§ 53. Движение как перемещение 162
§ 54. Видимое движение планет 165
§ 55. Причины механического движения. Детерминизм 168
§ 56. Движение как распространение. Волны 171
§ 57. Свойства волн 174
§ 58. Звук и его характеристики 177
§ 59. Движение, пространство, время, материя 180
§ 60. Движение тепла 183
§ 61. Статистика порядка и хаоса 186
§ 62. Движение как качественное изменение. Химические реакции 190
§ 63. Скорости химических реакций 193
§ 64. Движение в живой природе 195
§ 65. Движение как качественное изменение. Ядерные реакции 199
§ 66. Формы и виды движения 202
§ 67. Тайны движения через призму искусства 203

Глава 5. Эволюционная картина мира
§ 68. Между порядком и хаосом 210
§ 69. Самоорганизация. Причины и условия 213
§ 70. Бифуркации и спонтанное нарушение симметрии 216
§ 71. Самовоспроизведение живых организмов 220
§ 72. Самоорганизация в развитии организмов 224
§ 73. Рождение Вселенной 228
§ 74. Образование галактик, звезд, планетных систем 231
§ 75. Эволюция звезд и синтез тяжелых элементов 234
§ 76. Эволюция планеты Земля 236
§ 77. Принципы эволюции живых организмов 238
§ 78. Современные концепции биологической эволюции 242
§ 79. Эволюция эукариот 245
§ 80. Развитие жизни на Земле 249
§ 81. Эволюция человека 252
§ 82. Формирование человека разумного 255
§ 83. Коэволюция природы и цивилизации 258

Приложение 260
Предметный указатель 266

Ключ

4	9	6	5	10	11

Учебное издание

Серия «Академический школьный учебник»
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 учреждений
Базовый уровень

Зав. редакцией *Е. К. Липкина*
Редактор *З. Г. Галонюк*
Оператор *Л. О. Спиридонова*
Художники *Е. А. Адамов, Н. А. Парцевская, И.О. Кабардин, К. В. Макаров, Д. В. Валенцова*
Художественный редактор *Е. А. Михайлова*
Компьютерная верстка и техническое редактирование *С. В. Китаевой*
Корректоры *Н. В. Белозерова, И. А. Григалашвили, И. Б. Окунева, И. Н. Панкова, И. В. Чернова, Г. Н. Смирнова*

Налоговая льгота — Общероссийский классификатор продукции ОК 005-93—953000. Изд. лиц. Серия ИД № 05824 от 12.09.01. Подписано в печать 09.11.2007. Формат 84×108$^{1}/_{16}$. Бумага офсетная. Гарнитура PragmaticaC. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 22,38. Тираж 10000 экз. Заказ № 610.

Открытое акционерное общество «Издательство «Просвещение». 127521, Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41.

Открытое акционерное общество «Тверской ордена Трудового Красного Знамени полиграфкомбинат детской литературы им. 50-летия СССР». 170040, г. Тверь, проспект 50 лет Октября, 46.

Российская академия наук
Российская академия образования
Издательство «Просвещение»

Академический школьный учебник

БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ

Лабиринт

Дорога к знаниям –
дорога через «Лабиринт»

ISBN 978-5-09-018918-7

ПРОСВЕЩЕНИЕ
ИЗДАТЕЛЬСТВО