

Министерство образования Российской Федерации

Владивостокский государственный университет  
экономики и сервиса

---

**Л.Р. РОДКИНА  
Е.Э. ШМАКОВА**

**ПРАКТИКУМ ПО КОНЦЕПЦИЯМ  
СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ**

Часть 1. Точное естествознание

Владивосток  
Издательство ВГУЭС  
2002

ББК 35.45

Р 65

Рецензенты: В.Н. Савченко, д-р физ.-мат. наук;  
В.С. Печников, канд. физ.-мат. наук

Родкина Л.Р., Шмакова Е.Э.

Р 65 Практикум по концепциям современного естествознания: Учеб. пособие. Ч.1. Точное естествознание. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2002. – 64 с.

В учебном пособии рассмотрены вопросы о современных концепциях физики, химии, космологии, биологии, информатики. Включены вопросы практической направленности естественно-научного познания окружающего мира, описание современных методов и техники эксперимента как основы естествознания. В пособие входят лабораторные работы, характерные задачи с примерами решения.

Предназначено для студентов высших учебных заведений гуманитарных специальностей.

ББК 35.45

© Издательство Владивостокского государственного университета экономики и сервиса, 2002

© Родкина Л.Р., Шмакова Е.Э., 2002

*Способность ясно видеть взаимосвязи  
принадлежит к самым прекрасным  
ощущениям в жизни.*

*А. Эйнштейн  
(Из письма к М. Борну)*

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Понятие о физической картине мира**

По мере накопления экспериментальных данных постепенно вырисовывалась и складывалась величественная и сложная картина окружающего нас мира и Вселенной в целом. Научные поиски и исследования, проведенные на протяжении многих веков, позволили И. Ньютону (1643-1727) открыть и сформировать фундамент закона механики – науки о механическом движении материальных тел и происходящих при этом взаимодействиях между ними. В то время законы Ньютона оказались настолько всеобъемлющими, что легли в основу построения механической картины мира, согласно которой все тела должны состоять из абсолютно твердых частиц, находящихся в непрерывном движении. Взаимодействие между телами осуществляется с помощью сил тяготения (гравитационных сил). Все многообразие окружающего нас мира, по Ньютону, заключалось в различии движения частиц.

Механическая картина мира господствовала до тех пор, пока Дж. Максвеллом (1873 г.) не были сформулированы уравнения, описывающие основные закономерности электромагнитных явлений. Эти закономерности не могли быть объяснены с точки зрения механики Ньютона.

В отличие от классической механики, где предполагается, что взаимодействие между телами осуществляется мгновенно, теория Максвелла утверждала, что взаимодействие происходит с конечной скоростью, равной скорости света в вакууме, посредством электромагнитного поля (теория близкодействия). Создание СТО – нового учения о пространстве и времени – позволило полностью обосновать электромагнитную теорию.

В состав всех без исключения атомов входят электрически заряженные частицы. С помощью электромагнитной теории можно объяснить природу сил, действующих внутри атомов, молекул и макроскопических тел. Это положение легло в основу электромагнитной картины мира, согласно которой все происходящие в мире явления пытались объяснить с помощью законов электродинамики, однако объяснить

строение и движение материи только электромагнитными методами не удалось.

Дальнейшее развитие физики показало, что кроме гравитационного и электромагнитного существуют и другие взаимодействия. Первая половина XX века ознаменовалась интенсивными исследованиями строения электрических оболочек атомов и тех закономерностей, которые управляют движением электронов в атоме. Это привело к возникновению новой отрасли физики – квантовой механики. В квантовой механике используют понятие дуализма: движущаяся материя является одновременно веществом и полем, то есть обладает одновременно корпускулярными и волновыми свойствами. В классической же физике материя всегда либо совокупность частиц, либо поток волн. Развитие ядерной физики, открытие элементарных частиц, исследование их свойств и взаимопревращения привели к установлению еще двух типов взаимодействий, названных сильными и слабыми.

Понятия механики или квантовой теории, представления структурной химии или теории относительности, которые не могли быть сформулированы на основе «здорового смысла», оказали огромное влияние на современную картину мира, на мировоззрение. Они стали частью современной культуры и потому служат фундаментом современного высшего образования.

Пособие включает в себя семь глав, отражающих основные концепции точного естествознания. Каждая глава состоит из плана семинарского занятия, теоретического обоснования темы, примеров решения задач, контрольных вопросов и задач и экспериментальных заданий.

Глава первая посвящена изложению основных проблем и понятий современного естествознания, в том числе: атомистическое строение материи, химические связи и химические реакции, статистическое понимание философских законов, квантовая механика.

Во второй главе рассматривается концепция элементарных частиц, их классификация, теория возникновения Вселенной.

В третьей главе обсуждаются задачи, методы описания материального мира в пространстве и во времени. Дается характеристика категориям пространства и времени, материи и движения как основы миропонимания.

Глава четвертая рассматривает законы сохранения в природе, описывается эволюция Вселенной как процесс преобразования энергии.

Главы пятая и шестая посвящены вопросам полевой формы материи и волновым процессам, теории корпускулярно-волнового дуализма.

В главе седьмой рассматриваются законы, определяющие направленность процессов в природе. Дается представление об образовании среди хаоса упорядоченных структур, которые возникают тогда, когда существенным оказывается выбор пути развития.

# ГЛАВА 1

## КОНЦЕПЦИЯ АТОМИСТИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ВЕЩЕСТВА

### 1.1. План семинарского занятия

1. Начальные взгляды на строение вещества. Вещества и их изменения. Основные понятия и определения.
2. Развитие представления о сложном строении атома. Теория Бора.
3. Квантовая теория строения атома. Квантовые числа электронов.
4. Электронные конфигурации атомов. Ядро атома и радиоактивные превращения. Правила заполнения электронных оболочек.
5. Периодический закон Д. И. Менделеева. Периодическая таблица и электронные конфигурации атомов.
6. Химическая связь. Ионная связь. Ковалентная связь. Донорно-акцепторная связь. Металлическая связь. Водородная связь.

### 1.2. Теоретическое обоснование темы

Гипотеза о том, что все вещества состоят из большого числа атомов, зародилась свыше 2 тыс. лет тому назад. Сторонники атомистической теории, начиная с греческого философа Демокрита, рассматривали атом как мельчайшую неделимую частицу (от греческого “атомос” – неделимый) и считали, что все многообразие мира есть не что иное, как сочетание неизменных частиц – атомов.

Конкретные представления о строении атомов развивались по мере накопления физикой фактов о свойствах вещества.

Большая роль в этой области науки принадлежит Д. И. Менделееву. Открытия, совершённые во второй половине XIX века, заставили усомниться в неделимости атомов. Очень важным стало открытие немецких ученых К. Кирхгофа и Р. Бунзена: по наличию набора спектральных линий они предположили, что атом представляет собой сложную систему. Об этом уже свидетельствовало явление ионизации атомов. Ответ на вопрос, что является носителем заряда, теряемого или приобретаемого атомом в процессе ионизации, был дан в самом конце XIX века. Оказалось, что таким носителем является входящий в состав атома электрон – отрицательно заряженная частица массой  $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$  и зарядом  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ . Опираясь на эти открытия, английский физик Дж. Томсон в 1898 г. предложил первую модель атома в виде положительно заряженного шарика, в который вкраплены отдельные электроны, нейтрализующие положительный заряд.

## Основные понятия атомарно-молекулярного учения

Каждый отдельный вид материи обладает при данных условиях определенными физическими свойствами. Например: воду, железо, серу, известь, кислород называют *веществом*.

Вещество определяется тремя признаками:

- занимает часть пространства;
- обладает массой покоя;
- построено за счет сил притяжения и отталкивания.

Вещество существует в трех агрегатных состояниях:

1) газообразное состояние – вещество не имеет ни собственной формы, ни собственного объема; оно принимает форму и объем того сосуда, в котором находится; вещество может расширяться и его можно легко сжимать;

2) жидкое состояние – вещество не имеет своей формы, принимает форму сосуда, в котором находится, но имеет определенный объем; сжимаемость вещества в жидком состоянии невелика;

3) твердое состояние – вещество обладает механической прочностью (это свойство не присуще ни газам, ни жидкостям), имеет форму и объем; сжимаемость незначительна.

В основе химической науки лежит атомно-молекулярное учение. Это учение строится на двух принципах: дискретности вещества и неделимости атома.

Согласно этому учению:

- 1) все вещества состоят из отдельных частиц молекул;
- 2) при химических превращениях молекулы разрушаются, при физических – сохраняются;
- 3) молекулы состоят из атомов, при химических реакциях атомы не разрушаются;
- 4) атомы каждого вида (элемента) одинаковы между собой, но отличаются от атомов любого другого вида (элемента);
- 5) суть химической реакции – в образовании новых веществ из тех же самых атомов, из которых состоят первоначальные вещества.

Если молекула образована атомами одного элемента, то это молекула простого вещества. Молекула сложного вещества образована атомами разных элементов. Состав молекулы вещества выражается с помощью химических формул. Число атомов, входящих в состав молекулы, указывается правым индексом. Например:  $H_2SO_4$  – означает, что это сложное вещество, его молекула состоит из двух атомов водорода, одного атома серы и четырех атомов кислорода;  $H_2$  – простое вещество, молекула которого состоит из двух атомов водорода.

Доказательством сложности строения атома было открытие самопроизвольного распада атомов некоторых элементов, названное *радио-*

*активностью*. В 1896 году французский физик А. Беккерель обнаружил, что материалы, содержащие уран, засвечивают в темноте фотопластинку, ионизируют газы, вызывают свечение флюоресцирующих веществ. В дальнейшем выяснилось, что этой способностью обладает не только уран. Титанические усилия, связанные с переработкой огромных масс урановой смоляной руды, позволили П. Кюри и М. Склодовской-Кюри открыть два новых радиоактивных элемента полоний и радий. Последовавшие за этим установление природы  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -лучей, образующихся при радиоактивном распаде (Э. Резерфорд, 1899–1903 гг.), открытие ядер атомов диаметром  $10^{-6}$  нм, занимающих незначительную долю объема атома (Э. Резерфорд, 1909 – 1911 гг.), определение заряда электрона (Р. Милликен, 1909 – 1914 гг.) и доказательство дискретности его энергии в атоме (Дж. Франк, Г. Герц, 1912 г.), открытие того факта, что заряд ядра равен номеру элемента (Г. Мозли, 1913 г.), и наконец, открытие протона (Э. Резерфорд, 1920 г.) и нейтрона (Дж. Чедвик, 1932 г.) позволили предложить следующую модель строения атома:

1. В центре атома находится положительно заряженное ядро, занимающее ничтожную часть пространства внутри атома;

2. Весь положительный заряд и почти вся масса атома сосредоточены в его ядре (масса электрона равна  $1/1823$  а.е.м.);

3. Ядра атомов состоят из протонов и нейтронов (общее название – нуклоны). Число протонов и нейтронов в ядре равно порядковому номеру элемента, а сумма чисел протонов и нейтронов соответствует его массовому числу;

4. Вокруг ядра вращаются электроны. Их число равно положительному заряду ядра.

Различные виды атомов имеют общее название – нуклиды. Нуклиды достаточно охарактеризовать любыми двумя числами из трех фундаментальных параметров:

$A$  – массовое число,

$Z$  – заряд ядра, равный числу протонов, и

$N$  – число нейтронов в ядре.

Эти параметры связаны между собой соотношениями:

$$Z = A - N, N = A - Z, A = Z + N.$$

Нуклиды с одинаковым  $Z$ , но различными  $A$  и  $N$  называют изотопами.

В 1913 г. датский физик Н. Бор предложил свою теорию строения атома. При этом Бор не отбрасывал полностью старые представления о строении атома: как и Резерфорд, он считал, что электроны двигаются вокруг ядра подобно планетам, движущимся вокруг Солнца, однако в

основу новой теории были положены два *необычных предложения (постулата)*:

Электрон может вращаться вокруг ядра не по произвольным, а только по строго определенным (стационарным) круговым орбитам. Радиус орбиты  $r$  и скорость электрона  $v$  связаны квантовым соотношением Бора:

$$m \cdot v \cdot r = n \cdot \hbar, \quad (1.1)$$

где  $m$  – масса электрона,

$n$  – номер орбиты,

$\hbar$  – постоянная Планка ( $\hbar = 1,05 \cdot 10^{-34}$  Дж·с).

При движении по этим орбитам электрон не излучает и не поглощает энергии.

Таким образом, Бор предположил, что электрон в атоме не подчиняется законам классической физики. Согласно Бору, излучение или поглощение энергии определяется переходом из одного состояния, например, с энергией  $E_1$ , в другое – с энергией  $E_2$ , что соответствует переходу электрона с одной стационарной орбиты на другую. При таком переходе излучается или поглощается энергия  $\Delta E$ , величина которой определяется соотношением:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu, \quad (1.2)$$

где  $\nu$  – частота излучения,  $h = 2 \cdot \pi \cdot \hbar = 6,62 \cdot 10^{-34}$  Дж·с.

Отметим важное соотношение для радиусов орбит электрона в атоме водорода:

$$r_n = n^2 \cdot \frac{\hbar^2 \cdot E_0}{\pi \cdot m_e \cdot e^2}. \quad (1.3)$$

Подставляя значения констант ( $\hbar, \pi, E_0, m_e, e$ ) и считая  $n = 1$ , получаем значение первого боровского радиуса, который является единицей длины в физике атома:

$$r_b = 0,528 \cdot 10^{-10} \text{ м}.$$

Бор рассчитал частоты линий спектра атома водорода, которые очень хорошо согласовывались с экспериментальными значениями.

В последующие годы некоторые положения теории Бора были переосмыслены, видоизменены, дополнены. Наиболее существенным нововведением явилось понятие об электронном облаке, которое пришло на смену понятию об электроне как только частице. На смену теории Бора пришла квантовая теория строения атома, которая учитывает волновые свойства электрона.

*Рассмотрим строение атома.* Атом любого химического элемента состоит из ядра и электронной оболочки. Ядро состоит из положительно заряженных и нейтральных частиц – протонов и нейтронов. *Протон*

( $P^+$ ) – стабильная элементарная положительная частица. Положительный заряд протона равен по абсолютной величине заряду электрона. Масса протона больше массы электрона приблизительно в 1836 раз и равняется  $1,67 \cdot 10^{-26}$  кг.

Большую часть пространства атома занимают электроны. Электрон ( $e^-$ ) – элементарная отрицательная частица, носитель элементарного электрического заряда ( $-1$ ). Электрон движется с такой большой скоростью, что зафиксировать его положение в какой-либо определенной точке пространства невозможно. Представим себе, что человек мог бы уменьшиться до размеров атомного ядра и наблюдать движение электрона “изнутри” атома водорода. Он увидел бы электрон, “размазанный” по объему атома и мог бы сказать, что он находится “где-то здесь”. Поэтому обычно говорят об электронных облаках, образующихся при движении электрона вокруг ядра. С увеличением номера элемента увеличивается и число электронов, и поэтому форма электронных облаков становится более сложной.

Электрон имеет двойственную (корпускулярно-волновую) природу: он может вести себя и как частица, и как волна. Подобно частице, электрон обладает определенной массой и зарядом, в то же время движущийся поток электронов проявляет волновые свойства, например, характеризуется способностью к дифракции.

Длина волны электрона  $\lambda$  и его скорость  $\nu$  связаны соотношением де Бройля:

$$\lambda_e = hm / \nu, \quad (1.4)$$

где  $m$  – масса,

$\nu$  – скорость электрона.

Для электрона невозможно одновременно точно измерить координату и скорость. Чем точнее мы измеряем скорость, тем больше неопределенность в координате, и наоборот. Математическим выражением принципа неопределенности служит соотношение:

$$\Delta x m \Delta \nu \geq \hbar, \quad (1.5)$$

где  $\Delta x$  – неопределенность положения координаты,

$\Delta \nu$  – погрешность измерения скорости.

Электрон в атоме движется по определенным траекториям, а может находиться в любой части околоядерного пространства, однако вероятность его нахождения в разных частях этого пространства неодинакова. Пространство вокруг ядра, в котором вероятность нахождения электрона достаточно велика, называют *орбиталью*. Эти положения составляют суть новой теории, описывающей движение микрочастиц, *квантовой механики*. Наибольший вклад в развитие этой теории внесли француз Л. де Бройль, немец В. Гейзенберг, австриец Э. Шредингер и англичанин П. Дирак.

Состояние электронов можно описать набором четырех квантовых чисел, но для объяснения строения электронных оболочек атомов нужно еще знать три основных положения:

- 1) принцип Паули;
- 2) принцип наименьшей энергии;
- 3) правило Гунда.

В 1925 г. швейцарский физик В. Паули установил правило, названное впоследствии *принципом Паули* (или запрет Паули): в атоме не может быть двух электронов, у которых все четыре квантовых числа были бы одинаковые. Хотя бы одно из квантовых чисел  $n, l, m_l$  и  $m_s$  должны отличаться обязательно.

В 1927 г. немецкий физик Ф. Гунд сформулировал так называемое *правило Гунда*: при данном значении  $l$  (то есть в пределах определенного подуровня) электроны располагаются таким образом, чтобы суммарный спин был максимальным.

*Принцип наименьшей энергии* (наибольший вклад в разработку этого принципа внес советский ученый В. М. Клечковский) – в атоме каждый электрон располагается так, чтобы его энергия была минимальной. Именно В. М. Клечковский впервые в 1961 г. сформулировал общее положение, что электрон занимает в основном состоянии уровень не с минимальным возможным значением  $n$ , а с наименьшим значением суммы  $n + l$ . Принцип наименьшей энергии справедлив только для основных состояний атомов. В возбужденных состояниях электроны могут находиться на любых орбиталях атомов, если при этом не нарушается принцип Паули.

В 1869 г. Д. И. Менделеев впервые сформулировал периодический закон (основная характеристика элементов – их атомные веса): свойства простых тел, а также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости от величины атомных весов элементов. На базе современных представлений периодический закон формулируется так:

Свойства простых веществ, а также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости от величины заряда ядра атома (порядкового номера).

Большинство металлов обладает рядом свойств, имеющих общий характер и отличающихся от свойств других простых или сложных веществ. Такими свойствами являются сравнительно высокие температуры плавления, способность к отражению света, высокая тепло- и электропроводность. Эти особенности обязаны существованию в металлах особого вида связи – *металлической связи*.

Атомы металлов имеют небольшое число валентных электронов. Эти электроны достаточно слабо связаны со своими ядрами и могут

легко отрываться от них. В результате этого в кристаллической решетке металлов появляются положительно заряженные ионы и свободные электроны. Одни из атомов будут терять свои электроны, а образующиеся ионы могут принимать эти электроны из электронного газа. Вследствие этого металл представляет собой ряд положительных ионов, локализованных в определенных положениях кристаллической решетки, и большое количество электронов, сравнительно свободно перемещающихся в поле положительных центров. В случае металлов невозможно говорить о направленности связей, т.к. валентные электроны распределены по кристаллу почти равномерно. Именно этим и объясняется, например, пластичность металла.

Существует еще особый вид связи – *водородная связь*. Само название подчеркивает, что в ее образовании принимает участие атом водорода. Атом водорода, соединенный с сильно электроотрицательным элементом, способен образовывать еще одну химическую связь с другим подобным элементом. Условием образования этой связи является высокая электроотрицательность атома, непосредственно связанного в молекуле с атомом водорода. Атом с сильной электроотрицательностью смещает к себе общую электронную пару, приобретая отрицательный заряд, а атом водорода с внешней стороны почти полностью лишается электронного облака. С внешней стороны остается протон водорода, он будет взаимодействовать с отрицательно заряженным атомом другой молекулы. Водородная связь затрудняет отрыв молекулы друг от друга, играет большую роль в живой и неживой природе. Температура кипения воды намного выше, чем соответствующих соединений остальных элементов 6 группы ( $H_2S$ ,  $H_2Se$ ,  $H_2Te$ ), именно благодаря водородным связям. Водородная связь служит причиной некоторых важных особенностей воды – вещества, играющего огромную роль в процессах, протекающих в живой и неживой природе. Она в значительной мере определяет свойства и таких биологически важных веществ, как белки и нуклеиновые кислоты. Так, наиболее важным и, несомненно, одним из наиболее известных примеров влияния внутримолекулярной водородной связи на структуру является дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК). Молекула ДНК свернута в виде двойной спирали. Две нити этой двойной спирали связаны друг с другом водородными связями.

Молекулы органических соединений, содержащие группы  $-OH$ ,  $-COOH$ ,  $-CONH_2$ ,  $NH_2$  и др., часто ассоциированы вследствие образования водородных связей.

### 1.3. Примеры решения задач

*Задача 1.* Определить частоту света, излучаемого атомом водорода при переходе электрона на уровень с главным квантовым числом  $i = 2$ , если радиус орбиты электрона изменился в 9 раз.

Решение:

Частота света, излучаемая атомом водорода, определяется формулой

$$\nu = R \cdot \left( \frac{1}{i^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

где  $R$  – постоянная Ридберга,  $n$  – номер орбиты, с которой переходит электрон,  $i = 2$  – номер орбиты, на которую переходит электрон.

Из формулы  $r_n = n^2 \cdot \frac{h^2 \cdot E_0}{\pi \cdot m_e \cdot e^2}$  для радиуса орбиты следует, что

$$\frac{i^2}{n^2} = \frac{r_i}{r_n} = \frac{1}{9}.$$

Таким образом, получим формулу для определения частоты света:

$$\nu = R \cdot \left( 1 - \frac{i^2}{n^2} \right) \cdot \frac{1}{i^2}.$$

Вычисления:

$$\nu = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1} \cdot \left( 1 - \frac{1}{9} \right) \cdot \frac{1}{4} = 0,73 \cdot 10^{15} \text{ c}^{-1}.$$

Ответ:  $\nu = 0,73 \cdot 10^{15} \cdot \text{c}^{-1}$ .

*Задача 2.* Определить длину волны де Бройля, если кинетическая энергия электрона равна  $0,5 \text{ кэВ}$ .

Решение:

Длина волны де Бройля определяется по формуле  $\lambda = \frac{h}{m \cdot \nu}$ .

Из выражения для кинетической энергии  $E_k = \frac{m \cdot \nu^2}{2}$  найдем

$$\nu = \sqrt{\frac{2E_k}{m}}, \text{ получим } \lambda = \frac{h}{m \cdot \sqrt{2 \cdot E_k / m}} = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot E_k \cdot m}}.$$

Вычисления:

$$\lambda = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{\sqrt{2 \cdot 0,8 \cdot 10^{-16} \text{ Дж} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}}} = 5,5 \cdot 10^{-10} \text{ м}.$$

Ответ:  $\lambda = 5,5 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ .

## 1.4. Задачи для самостоятельного решения

1. Во сколько раз меняются радиус орбиты электрона и энергия атома водорода при переходе из состояния  $n = 5$  в состояние  $i = 1$  ?
2. Каковы скорость и ускорение электрона на первой боровской орбите?
3. Вычислить период обращения электрона на первой боровской орбите в атоме водорода.
4. Вычислить скорость электрона, находящегося на третьем энергетическом уровне в атоме водорода.
5. При переходе электрона в атоме водорода из возбужденного состояния в основное радиус орбиты электрона уменьшается в 16 раз. Определите длину волны излученного фотона.
6. Определите длину волны де Бройля электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов  $10^3 \text{ В}$ .
7. Найти длину волны де Бройля молекулы водорода, движущейся со средней квадратичной скоростью при температуре  $300\text{K}$ . Масса молекулы водорода  $3,4 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ .

## 1.5. Контрольные вопросы

1. Какие агрегатные состояния вещества вы знаете?
2. В чем суть атомно-молекулярного учения?
3. Расскажите об опытах Резерфорда по рассеянию  $\alpha$ -частиц.
4. Сформулируйте постулаты Бора.
5. Объясните на основании теории Бора наличие линейчатых спектров у атома водорода.
6. В чем недостатки теории Бора?
7. В чем смысл гипотезы де Бройля?
8. Что такое квантовая механика?
9. Как вы понимаете соотношение неопределённости?
10. Какие квантовые числа вам известны?
11. Сформулируйте принцип Паули.
12. Что такое изотопы?
13. Каков принцип расположения химических элементов в таблице Менделеева?
14. Чем химическая связь отличается от ковалентной?
15. Каким образом осуществляется связь атомов в металлах?
16. Чему равен первый боровский радиус электрона в атоме водорода?
17. Что такое атом? Что такое молекула?
18. Какие формы передачи энергии вам известны?
19. Дайте понятие макромира и микромира.
20. Приведите примеры фазовых переходов первого и второго рода. В чем их особенности?

## ГЛАВА 2 КОНЦЕПЦИЯ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ И «БОЛЬШОГО ВЗРЫВА»

### 2.1. План семинарского занятия

1. Естественная радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Способы регистрации заряженных частиц.
2. Строение атомного ядра. Открытие нейтрона. Дефект массы, энергия связи и устойчивость атомных ядер.
3. Ядерные силы. Альфа-распад. Бета-распад, нейтрино. Гамма-излучение, позитрон.
4. Элементарные частицы. Частицы и античастицы. Основные свойства элементарных частиц и их классификация. Ядерные реакции.
5. Концепция образования Вселенной из элементарных частиц.

### 2.2. Теоретическое обоснование темы

В 1896 г. А. Беккерель, изучая явление люминесценции солей урана, установил, что если осветить соль урана солнечными лучами, а затем положить ее на завернутую в черную бумагу фотопластинку, то последняя темнеет под действием, как он полагал, лучей люминесценции. Но однажды Беккерель положил на фотопластинку соль урана, не осветив ее предварительно лучами солнца. Через несколько дней, проявив фотопластинку, он обнаружил на ней отпечаток куска урановой руды.

Проводя подобные опыты с солями урана, Беккерель пришел к выводу, что соль испускает лучи неизвестного типа, которые проходят через бумагу, дерево, тонкие металлические пластинки.

Лучи, открытые Беккерелем, назвали *радиоактивными* (от латинского «радиус» – луч).

Сейчас под *радиоактивностью* понимают явление *самопроизвольного превращения атомных ядер неустойчивых изотопов в устойчивые, сопровождающееся испусканием частиц и энергии*.

При изучении радиоактивности возникает вопрос: по какому закону происходит распад радиоактивных элементов? Опыты показывают, что с течением времени число радиоактивных атомов должно уменьшаться. Для одних элементов это уменьшение идет очень быстро – в течение минут или даже секунд, для других на это требуются миллиарды лет. Было установлено, что распад ядер – явление случайное. Вероятность распада каждого отдельного атома за секунду времени называют постоянной радиационного распада  $\lambda$ .

Если в начальный момент времени  $t = 0$  имеется  $N_0$  радиоактивных атомов, то в момент времени  $t$  число оставшихся радиоактивных атомов

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}, \quad (2.1)$$

где  $e \approx 2,72$  – основание натурального логарифма. Выражение (2.1) называется *законом радиоактивного распада*.

*Периодом полураспада* называют время  $T_{1/2}$ , по истечении которого начальное число атомов  $N_0$  радиоактивного вещества уменьшится вдвое. Если  $t = T_{1/2}$ , то  $N = N_0 / 2$ , и тогда

$$T_{1/2} = \ln 2 / \lambda = 0,693 / \lambda \quad (2.2)$$

Период полураспада постояен для каждого изотопа. Величину  $\tau = 1 / \lambda$  называют *средним временем жизни изотопа*. Она не зависит от внешних условий, а определяется лишь свойствами атомного ядра.

### Строение атомного ядра

Русским физиком Д. Д. Иваненко и немецким ученым В. Гейзенбергом в 1932 г. была предложена протон-нейтронная модель, согласно которой ядро любого химического элемента состоит из двух видов элементарных частиц: протонов ( $p$ ) и нейтронов ( $n$ ), которые впоследствии назвали нуклонами.

Протоны имеют положительный заряд, равный по модулю заряду электрона. Нейтроны электрически нейтральны. Масса протона в 1846 раз больше массы электрона. Масса нейтрона больше массы протона на 2,5 массы электрона. Массы нейтрона  $m_n$  и протона  $m_p$  в углеродной шкале атомных единиц (а.е.м.) равны  $m_n = 1,008665012$  а.е.м.,  $m_p = 1,007276470$  а.е.м.

Протон и нейтрон относятся к классу фермионов – частиц, имеющих полуцелый спин. Количество протонов в ядре определяет заряд ядра  $+Ze$ . Значение  $Z$  совпадает с атомным номером элемента в периодической таблице Менделеева (*зарядовое число*). Общее число нуклонов в ядре называют *массовым числом  $A$  ядра*:  $A = N + Z$ .

Введем понятие энергии связи отдельного нуклона в ядре, то есть удельной энергии связи  $\Delta E_{уд}$ . Это величина, равная работе, которую нужно совершить для удаления нуклона из ядра. Полная энергия связи ядра определяется работой, которую нужно совершить для расщепления ядра на составляющие его нуклоны. Полную энергию связи ядра характеризует величина  $\Delta m$ , называемая дефектом масс. Под дефектом масс понимают разность между суммой масс протонов и нейтронов, находящихся в свободном состоянии, и массой составленного из него ядра. Если ядро массой  $M_j$  образовано из  $Z$  протонов и из  $(A - Z)$  нейтронов, то

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - M_j. \quad (2.3)$$

Наличие дефекта массы показывает, что для полного расщепления ядра на нуклоны нужно затратить энергию

$$\Delta E_{св} = \Delta m \cdot c^2. \quad (2.4)$$

Величину  $\Delta E_{св}$  называют энергией связи (полной энергией связи). Она является непосредственной мерой устойчивости ядра.

В ядерной физике для вычисления энергии принимают атомную единицу энергии (а.е.э.) – величину, соответствующую энергии одной атомной единицы массы:

$$1 \text{ а.е.э.} = 1 \text{ с}^2 \cdot 1 \text{ а.е.м.} = 9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,5 \cdot 10^{-10} \text{ Дж} = 931,1 \text{ МэВ.}$$

Соотношение (2.3) практически не нарушится, если заменить массу протона  $m_p$  массой атома водорода  $m_H$ , а массу ядра  $m_y$  массой атома  $m_a$ . Действительно, если пренебречь сравнительно ничтожной энергией связи электронов с ядрами, указанная замена будет означать добавление к уменьшаемому и вычитаемому одинаковой величины, равной  $Z \cdot m_e$ . Итак, формуле (2.3) можно придать вид

$$\Delta m = Z \cdot m_H + (A - Z) \cdot m_n - m_a. \quad (2.5)$$

Последняя формула удобнее, так как в таблицах обычно даются не массы ядер, а массы атомов.

Взаимодействие между нуклонами в ядре является примером *сильных взаимодействий – взаимодействий через ядерные силы*.

Ядерные силы обладают рядом отличительных свойств:

- 1) они являются силами притяжения;
- 2) это короткодействующие силы, их действие проявляется на расстоянии порядка  $10^{-15}$  м. На расстояниях, существенно меньших  $10^{-15}$  м, притяжение нуклонов сменяется отталкиванием;
- 3) ядерные силы обладают свойствами *зарядовой независимости*: ядерные силы, действующие между протоном и нейтроном, между двумя протонами или между двумя нейтронами, одинаковы;
- 4) ядерные силы *не являются центральными*, как, например, силы гравитационные и кулоновские. Их нельзя представить направленными вдоль прямой, соединяющей центры взаимодействующих нуклонов;
- 5) ядерные силы обладают свойством насыщения (это означает, что каждый нуклон в ядре взаимодействует с ограниченным числом нуклонов).

Следствием этого свойства является почти линейная зависимость энергии связи от массового числа  $A$ . Если бы насыщения не было, то каждый нуклон в ядре взаимодействовал бы с  $(A - 1)$  нуклонами и энергия связи была бы пропорциональна числу пар нуклонов в ядре, то есть  $A^2$ . Кроме того, удельная энергия связи нуклонов в ядре при увеличении числа нуклонов остается примерно постоянной.

Ядерные силы детально не изучены до настоящего времени. Законченной теории ядерных сил нет, но предполагается, что «чистых» про-

тонов и нейтронов в ядре нет, есть ядерное вещество, которое может существовать в двух состояниях – иметь положительный заряд или не иметь заряда. Согласно гипотезе, которую высказал в 1935 г. японский физик Х. Юкава, в ядрах протоны и нейтроны с чудовищной быстротой как бы обмениваются частицами, которые обладают массой в 200–300 раз большей, чем электрон. Позднее эти частицы назвали  $\pi$ -мезонами. Строение нуклона в настоящее время представляется следующим: в центре нуклона находится ядро-кern, радиус которого  $\cong 0,3 \cdot 10^{-15}$  м. Kern окружен «облаком», состоящим из мезонов. Носителями ядерных сил являются  $\pi$ -мезоны: существует положительный  $\pi^+$ , отрицательный  $\pi^-$  и нейтральный  $\pi^0$ -мезоны.

### **Концепция возникновения Вселенной из элементарных частиц**

Современные астрономические наблюдения свидетельствуют о том, что началом Вселенной (приблизительно десять миллиардов лет назад) был гигантский огненный шар, раскалённый и плотный. Его состав весьма прост. Этот огненный шар был настолько раскалён, что состоял лишь из свободных элементарных частиц, которые стремительно двигались, сталкиваясь друг с другом.

На протяжении десяти миллиардов лет после "большого взрыва" простейшее бесформенное вещество постепенно превращалось в атомы, молекулы, кристаллы, породы, планеты. Рождались звезды, системы, состоящие из огромного количества элементарных частиц с весьма простой организацией. На некоторых планетах могли возникнуть формы жизни.

Тот момент, с которого Вселенная начала расширяться, принято считать ее началом. Тогда началась первая и полная драматизма эра в истории вселенной, ее называют "*большим взрывом*" или английским термином *Big Bang*.

Под расширением Вселенной подразумевается такой процесс, когда то же самое количество элементарных частиц и фотонов занимают постоянно возрастающий объём. Средняя плотность Вселенной в результате расширения постепенно понижается. Из этого следует, что в прошлом плотность Вселенной была больше, чем в настоящее время. Можно предположить, что в глубокой древности (примерно десять миллиардов лет назад) плотность Вселенной была очень большой. Кроме того, высокой должна была быть и температура, настолько высокой, что плотность излучения превышала плотность вещества. Иначе говоря, энергия всех фотонов, содержащихся в 1 куб. см, была больше суммы общей энергии частиц, содержащихся в 1 куб. см. На самом раннем этапе, в первые мгновения "*большого взрыва*", вся материя была сильно раскаленной и густой смесью частиц, античастиц и высокоэнергичных

гамма-фотонов. Частицы при столкновении с соответствующими античастицами аннигилировали, но возникающие гамма-фотоны моментально материализовались в частицы и античастицы.

Подробный анализ показывает, что температура вещества  $T$  понижалась во времени в соответствии с простым соотношением:

$$T = \frac{10^{10}}{\sqrt{t}} (K).$$

Зависимость температуры  $T$  от времени  $t$  дает нам возможность определить, что, например, в момент, когда возраст Вселенной исчислялся всего одной десяти тысячной секунды, её температура представляла один миллиард Кельвинов.

Со временем энергия фотонов понижалась, и как только она упала ниже произведения энергии частицы и античастицы ( $2m_0 c^2$ ), фотоны уже не способны были обеспечить возникновение частиц и античастиц с массой  $m_0$ .

Согласно тому, как материализация в результате понижающейся температуры раскаленного вещества приостановилась, эволюцию Вселенной принято разделять на четыре эры: адронную, лептонную, фотонную и звездную.

**Адронная эра.** При очень высоких температурах и плотности в самом начале существования Вселенной материя состояла из элементарных частиц. Вещество на самом раннем этапе состояло, прежде всего, из адронов, и поэтому ранняя эра эволюции Вселенной называется адронной, несмотря на то, что в то время существовали и лептоны.

Через миллионную долю секунды с момента рождения Вселенной температура  $T$  упала на 10 миллиардов Кельвинов ( $10^{13}K$ ). Средняя кинетическая энергия частиц  $kT$  и фотонов  $h\nu$  составляла около миллиарда эв ( $10^9$ Мэв), что соответствует энергии покоя барионов. В первую миллионную долю секунды эволюции Вселенной происходила материализация всех барионов неограниченно, так же, как и аннигиляция. Но по прошествии этого времени материализация барионов прекратилась, так как при температуре ниже  $10^{13}$  К фотоны не обладали уже достаточной энергией для ее осуществления. Процесс аннигиляции барионов и антибарионов продолжался до тех пор, пока давление излучения не отделило вещество от антивещества.

Нестабильные гипероны (самые тяжелые из барионов) в процессе самопроизвольного распада превратились в самые легкие из барионов (протоны и нейтроны). Так, во Вселенной исчезла самая большая группа барионов – гипероны. Нейтроны могли дальше распадаться в протоны, которые далее не распадались, иначе бы нарушился закон сохранения барионного заряда. Распад гиперонов происходил на этапе с  $10^{-6}$  до  $10^{-4}$  секунды.

К моменту, когда возраст Вселенной достиг одной десяти тысячной секунды ( $10^{-4}$  с), температура ее понизилась до  $10^{12}$  К, а энергия частиц и фотонов представляла лишь 100 Мэв. Ее не хватало уже для возникновения самых легких адронов – пионов. Пионы, существовавшие ранее, распались, а новые не могли возникнуть. Это означает, что к тому моменту, когда возраст Вселенной достиг  $10^{-4}$  с, в ней исчезли все мезоны.

**Лептонная эра.** Когда энергия частиц и фотонов понизилась в пределах от 100 Мэв до 1 Мэв, в веществе было много лептонов. Температура была достаточно высокой, чтобы обеспечить интенсивное возникновение электронов, позитронов и нейтрино. Барионы (протоны и нейтроны), пережившие адронную эру, стали по сравнению с лептонами и фотонами встречаться гораздо реже.

Лептонная эра начинается с распада последних адронов – пионов – в мюоны и мюонное нейтрино, а кончается через несколько секунд при температуре  $10^{10}$  К, когда энергия фотонов уменьшилась до 1 Мэв и материализация электронов и позитронов прекратилась. Во время этого этапа начинается независимое существование электронного и мюонного нейтрино, которые мы называем "реликтовыми".

**Фотонная эра, или эра излучения.** На смену лептонной эры пришла эра излучения. Как только температура Вселенной понизилась до  $10^{10}$  К, а энергия гамма-фотонов достигла 1 Мэв, произошла только аннигиляция электронов и позитронов. Новые электронно-позитронные пары не могли возникать вследствие материализации потому, что фотоны не обладали достаточной энергией. Но аннигиляция электронов и позитронов продолжалась дальше, пока давление излучения полностью не отделило вещество от антивещества. Со времени адронной и лептонной эры Вселенная была заполнена фотонами. К концу лептонной эры фотонов было в два миллиарда раз больше, чем протонов и электронов.

Так выглядела Вселенная в возрасте примерно 300 000 лет. Расстояния в тот период были в тысячу раз короче, чем в настоящее время.

"Большой взрыв" продолжался сравнительно недолго, всего лишь одну тридцатитысячную нынешнего возраста Вселенной. Несмотря на краткость срока, это всё же была самая славная эра Вселенной. Никогда после этого эволюция Вселенной не была столь стремительна как в самом её начале, во время "большого взрыва". Все события во Вселенной в тот период касались свободных элементарных частиц, их превращений, рождения, распада, аннигиляции. Не следует забывать, что в столь короткое время (всего лишь несколько секунд) из богатого разнообразия видов элементарных частиц исчезли почти все: одни путем аннигиляции (превращение в гамма-фотоны), иные путем распада на самые легкие барионы (протоны) и на самые легкие заряженные лептоны (электроны).

После "большого взрыва" наступила продолжительная эра вещества, эпоха преобладания частиц.

С возникновением атомов водорода начинается звездная эра – эра частиц, точнее говоря, эра протонов и электронов.

Вселенная вступает в звездную эру в форме водородного газа с огромным количеством световых и ультрафиолетовых фотонов. Водородный газ расширялся в различных частях Вселенной с разной скоростью. Неодинаковой была также и его плотность. Он образовывал огромные сгустки во много миллионов световых лет. Масса таких космических водородных сгустков была в сотни тысяч, а то и в миллионы раз больше, чем масса нашей теперешней Галактики. Расширение газа внутри сгустков шло медленнее, чем расширение разреженного водорода между самими сгущениями. Позднее из отдельных участков с помощью собственного притяжения образовались сверхгалактики и скопления галактик.

### 2.3. Примеры решения задач

*Задача 1.* Вычислить дефект массы и энергию связи ядра  ${}^7\text{N}^{14}$ .

Решение:

$$\text{Дефект массы ядра } \Delta m = Z \cdot m_H + (A - Z) \cdot m_n - m_a,$$

где  $m_H$  – масса нейтрального атома водорода.

Вычисления:

Используя табличные значения для изотопа азота  ${}^7\text{N}^{14}$ , находим

$$\Delta m = [7 \cdot 1,00781 + (14 - 7) \cdot 1,00867 - 14,00304] \text{ а.е.м.} = 0,11232 \text{ а.е.м.} = 0,186 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

Энергия связи ядра:

$$E_{\text{св}} = \Delta m c^2 = 0,186 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot 9 \cdot 10^{16} \text{ м}^2/\text{с}^2 = 1,67 \cdot 10^{-11} \text{ Дж} = 104,3 \text{ МэВ.}$$

*Задача 2.* Выделяется или поглощается энергия при ядерной реакции



Решение:

Для вычисления энергии ядерной реакции необходимо определить дефект массы  $\Delta m$  реакции. Если  $\Delta m$  выражать в а.е.м., то  $\Delta E = 931 \Delta m$  [МэВ].

$$\text{Дефект массы } \Delta m = (M_1 + m_n) - M.$$

Так как число электронов до и после реакции сохраняется, то вместо значения масс ядер воспользуемся значениями масс нейтральных атомов:

$$\Delta m = [(58,95182 + 1,00893) - 59,95250] \text{ а.е.м.} = 0,008825 \text{ а.е.м.}$$

Реакция идет с выделением энергии, так как  $\Delta m > 0$ .

Вычисления:

$$\Delta E = 931 \text{ МэВ} / \text{а.е.м.} \cdot 0,008825 \text{ а.е.м.} = 7,66 \text{ МэВ.}$$

## 2.4. Задачи для самостоятельного решения

1. Какая энергия выделяется при образовании 1г гелия из протонов и нейтронов?
2. Вычислить дефект массы, энергию связи ядра атома и его удельную энергию  ${}_{12}\text{Mg}^{24}$ .
3. Период полураспада радия равен 1600 лет. Чему равно среднее время жизни ядра радия?
4. При бомбардировке ядер бора  ${}_{5}\text{B}^{11}$  протонами получается бериллий  ${}_{4}\text{Be}^8$ . Какое еще ядро образуется при этой реакции?
5. Масса дейтрона равна 2,01356 а.е.м. Найти энергию связи.

## 2.5. Контрольные вопросы

1. В чем заключается явление радиоактивности?
2. Какова природа радиоактивного излучения?
3. Запишите закон радиоактивного распада.
4. Что называют периодом полураспада?
5. Расскажите о модели ядра.
6. Дайте характеристику ядерным силам.
7. Что такое космическое излучение?
8. Какие частицы называются элементарными?
9. Расскажите о взаимном превращении вещества и поля.
10. Какие классы частиц вы знаете?
11. Что понимают под искусственной радиоактивностью?
12. Расскажите о получении и применении радиоактивных изотопов.
13. Какое биологическое воздействие оказывает радиоактивное излучение на живой организм?
14. Расскажите о «большом взрыве».
15. Расскажите о концепции возникновения Вселенной из элементарных частиц.

# ГЛАВА 3 КОНЦЕПЦИЯ ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ

## 3.1. План семинарского занятия

1. Основные свойства пространства.
2. Основные свойства времени.
3. Пространство и время в теории относительности Эйнштейна.
4. В чем проявляется однородность и изотропность пространства?
5. Пространство и время в физике микромира.
6. Пространственно-временные представления квантовой механики.
7. Прерывность и непрерывность пространства и времени в физике микромира. Проблема макроскопичности пространства и времени в микромире.
8. Системы отсчета. Инерциальные системы отсчета.
9. Преобразования Галилея. Преобразования Лоренца.

## 3.2. Теоретическое обоснование темы

Любой физический процесс протекает в пространстве и времени. Это видно хотя бы из того, что во всех областях физических явлений каждый закон явно или неявно содержит пространственно-временные величины – расстояния и промежутки времени.

Расстояния измеряются масштабами, основным свойством которых является то, что два однажды совпавших по длине масштаба всегда остаются равными друг другу, то есть при каждом последующем наложении совпадают. Промежутки времени измеряются часами, причем роль последних может выполнять любая система, совершающая повторяющийся процесс.

Основной чертой представлений классической механики о размерах тел и промежутках времени является их абсолютность: масштаб имеет всегда одну и ту же длину независимо от того, как он движется относительно наблюдателя. Двое часов, имеющих одинаковый ход и приведенных однажды в соответствие друг с другом, показывают одно и то же время независимо от того, как они движутся.

Для полного задания положения точки недостаточно указания лишь одного расстояния, опыт показывает, что для определения положения некоторой точки по отношению ко всем остальным необходимо задание трех расстояний. Это свойство пространства носит название трехмерности.

Изучая характер движения тел, можно установить, что свойства пространства одинаковы в различных точках, а в каждой точке одинаковы во всех направлениях, то есть пространство однородно и изотропно.

но. Из тех же эмпирических законов движения следует, что различные моменты времени эквивалентны друг другу, то есть время однородно.

Следствием этих свойств симметрии пространства и времени для физических систем являются так называемые законы сохранения. Следствием однородности времени является сохранение энергии системы по отношению к однородности и изотропии пространства – сохранение соответственно импульса и момента импульса. Все развитие физической науки – эксперимента и теории – постоянно указывает на справедливость этих законов. Их значение видно также и из того обстоятельства, что громадное количество известных нам физических закономерностей может быть выведено из очень небольшого числа весьма общих соотношений, в число которых входят законы сохранения.

Подробнее с законами сохранения мы познакомимся позднее, а сейчас укажем еще на одно свойство пространства, а именно на то, что оно является «плоским», или евклидовым, то есть удовлетворяет геометрии Евклида. Рассмотренные выше представления о пространстве и времени, установленные опытным путем, оказываются применимыми к огромной области физических явлений. Эти представления называют классическими. Перейдем к изучению свойств движения простейшего физического объекта – материальной точки, или, как говорят, частицы. Материальной точкой называют тело, размерами которого можно пренебречь при описании его движения.

Как уже отмечалось, для полного задания положения материальной точки в пространстве необходимо задать три расстояния – три координаты точки. Три координаты вполне определяют положение точки по отношению к некоторому телу отсчета. Будем связывать с этим телом отсчета некоторую декартову систему координат; тогда положение частицы в пространстве можно характеризовать ее радиус-вектором  $\mathbf{r}$ , компоненты которого по осям системы координат равны декартовым координатам точки  $x, y, z$ .

Согласно классическим представлениям о пространственно-временных свойствах движения, материальная точка в каждый момент времени находится в определенном месте пространства, имеет определенные координаты. При движении материальной точки координаты ее изменяются. Соответственно этому радиус-вектор  $\mathbf{r}$  материальной точки можно рассматривать как функцию времени:

$$\mathbf{r} = \mathbf{r} ( t ).$$

Скорость  $\mathbf{v}$  материальной точки есть

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt},$$

т.е. производная радиус-вектора по времени.

Ускорение  $w$  определяется как

$$w = \frac{dv}{dt}.$$

Основной задачей классической (основанной на классических представлениях о пространстве, времени и движении) механики является изучение движения систем материальных точек путем определения их координат как функций времени. При этом считается известным состояние механической системы в некоторый начальный момент времени. Состояние системы вполне определяется заданием координат и скоростей всех материальных точек.

Уравнения движения, которые будут получены в дальнейшем, связывают между собой состояния механической системы в различные моменты времени.

Как уже отмечалось, для изучения физических явлений необходимо располагать некоторой системой отсчета. Можно взять любую из бесчисленного множества как угодно движущихся относительно друг друга систем отсчета. Однако законы природы в различных системах отсчета имеют различный вид. Если взять произвольную систему отсчета, то может оказаться, что даже законы совсем простых явлений будут выглядеть в ней весьма сложно. Естественно, возникает задача отыскания такой системы отсчета, в которой законы природы выглядели бы возможно более просто; такая система отсчета наиболее удобна для описания физических явлений.

При нахождении такой системы отсчета мы будем исходить из рассмотрения самого простого случая движения. Таким случаем является движение материальной точки, настолько отдаленной от всех других тел, что взаимодействием между этими телами и материальной точкой можно пренебречь. О таком движении материальной точки говорят, что оно является свободным.

Рассмотрим произвольную систему отсчета, будем изучать ее свойства при помощи свободно движущейся материальной точки. Допустим, что в начальный момент времени в этой системе отсчета точка покоилась. Тогда в следующий момент времени точка, вообще говоря, не будет более покоиться – она начнет двигаться в некотором направлении. В этом смысле можно сказать, что произвольная система отсчета в отношении своих свойств не является однородной и изотропной.

Оказывается, что всякие два свободно движущихся тела могут покоиться друг относительно друга сколь угодно долго. Поэтому движение можно относить к системе координат, неподвижно связанной с какими-либо свободно движущимися телами. Такая система отсчета носит название инерциальной. В инерциальной системе отсчета все направле-

ния физически эквивалентны и различные точки пространства по своим физическим свойствам одинаковы.

Указанные свойства инерциальных систем отсчета приводят к тому, что свободное движение материальной точки в этих системах совершается с постоянной скоростью. Этот результат известен под названием закона инерции. В частности, как мы и предполагали ранее, если в некоторый момент времени скорость материальной точки равна нулю, то она будет оставаться в покое неограниченно долго.

Если мы рассмотрим систему отсчета, движущуюся относительно инерциальной системы произвольным образом, то она, вообще говоря, уже не будет инерциальной системой. Отсюда не следует, однако, что существует только одна инерциальная система отсчета. Легко видеть, что таких систем существует бесчисленное множество, причем все инерциальные системы отсчета совершают друг относительно друга равномерное и прямолинейное движение.

Для инерциальных систем отсчета справедлив принцип относительности, согласно которому все инерциальные системы по своим физическим свойствам эквивалентны друг другу. Это означает, что все законы природы одинаковы во всех инерциальных системах отсчета.

В соответствии с принципом относительности уравнения выражающие законы природы должны оставаться неизменными, или, как говорят, инвариантными во всех инерциальных системах отсчета. Другими словами, уравнение, описывающее некоторое явление, будучи выражено через координаты и время в различных инерциальных системах отсчета, должно иметь один и тот же вид. Однако законы пространственно-временных преобразований при переходе от одних инерциальных систем отсчета к другим, зависят от свойств пространства, времени и движения.

Пусть  $r$  – радиус-вектор, характеризующий положение материальной точки относительно инерциальной системы отсчета  $K$  в некоторый момент времени  $t$ . Обозначим через  $r'$  и  $t'$  радиус-вектор и время того же события в другой инерциальной системе отсчета  $K'$ , которая движется относительно  $K$  со скоростью  $V$ . Согласно классическим представлениям о пространстве и времени, формулы преобразования координат и времени имеют вид

$$\left. \begin{aligned} r' &= r + Vt' \\ t &= t' \end{aligned} \right\},$$

причем последнее равенство выражает абсолютный ход времени, а первое – абсолютность размеров. Эти соотношения называются преобразованиями Галилея.

В соответствии с принципом относительности уравнения движения любой классической механической системы при преобразованиях Галилея остаются неизменными.

Дифференцируя по времени первое равенство, получаем:

$$v = v' + V.$$

Эта простая формула представляет собой закон сложения скоростей: скорость  $v$  частицы относительно системы отсчета  $K$  складывается из ее скорости  $v'$  относительно другой системы отсчета  $K'$  и скорости  $V$  системы  $K'$  относительно  $K$ .

Дифференцируя по времени равенство и учитывая, что  $V$  есть величина постоянная, получаем:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv'}{dt}.$$

### 3.3. Пример решения задач

*Задача 1.* Наблюдатель движется мимо метровой линейки со скоростью, равной половине скорости света. Какой длины по его измерениям окажется эта линейка?

Решение:

$$l' = l\sqrt{1 - \beta^2} = (100 \text{ см}) \cdot \sqrt{1 - (0,5)^2} = 86,6 \text{ см}.$$

*Задача 2.* Примем, что скорость движения наблюдателя мимо метровой линейки в предыдущем примере уменьшилась до 30 м/с ( $\sim 100$  км/ч). Какую длину линейки он теперь измерит?

Решение:

$$l' = 100 \text{ см} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{3 \cdot 10^3 \text{ см/с}}{3 \cdot 10^{10} \text{ см/с}}\right)^2} = 100 \text{ см}.$$

Из этих примеров видно, что сокращение длины не имеет практических следствий для нашей повседневной жизни.

*Задача 3.* Чему равно относительное возрастание массы реактивно-го лайнера, летящего со скоростью 1000 м/ч?

Решение:

$$\beta = \frac{v}{c} = \frac{2,8 \cdot 10^4 \text{ см/с}}{3 \cdot 10^{10} \text{ см/с}} \approx 10^{-6}, \Rightarrow \frac{\Delta m}{m_0} \approx \frac{1}{2} \beta^2 = 0,5 \cdot 10^{-12},$$

то есть масса возрастает на совершенно ничтожную величину.

*Задача 4.* Чему равна масса электрона с энергией 2 МэВ?

Решение:

Вычислим энергию покоя электрона:

$$m_0 c^2 = 9,1 \cdot 10^{-28} \text{ эрг} (3 \cdot 10^{10} \text{ см/с})^2 = 8,2 \cdot 10^{-7} \text{ эрг} \frac{1}{1,6 \cdot 10^{-6} \text{ эрг/Мэ}} = 0,51 \text{ ММэ}.$$

Кинетическая энергия электрона в единицах  $m_0 c^2$  равна  $E_k = 2$  МэВ.

$$E_k = 2 \text{ МэВ} \cdot \frac{m_0 c^2}{0,51 \text{ МэВ}} \approx 4 m_0 c^2.$$

Следовательно, масса электрона с энергией 2 МэВ приблизительно в 5 раз превышает массу покоящегося электрона.

### 3.4. Задачи для самостоятельного решения

1. 1 грамму воды сообщено 10 калорий тепла. Насколько увеличится масса воды?
2. Допустим, что скорость света внезапно уменьшилась до 50 км/ч. Как при этом изменилось бы то, что мы наблюдаем в окружающем мире? Приведите несколько примеров.
3. Мотоциклист проносится мимо Вас со скоростью  $2,5 \cdot 10^{10}$  км/ч. Изобразите на рисунке, каким вам покажется мотоциклист. Будет ли ваш вид казаться обычным мотоциклисту?
4. Объясните, могут ли двойные звезды излучать гравитационные волны?
5. Ракета движется относительно неподвижного наблюдателя со скоростью  $V = 0,99 c$  ( $c$  – скорость света). Какое время пройдет по часам неподвижного наблюдателя, если по часам, движущимся вместе с ракетой, прошел один год? Как изменятся линейные размеры в ракете (в направлении ее движения) для неподвижного наблюдателя?
6. Электрон движется со скоростью  $0,8 c$  ( $c$  – скорость света). Масса покоя электрона равна приблизительно  $9,1 \cdot 10^{-31}$  кг. Определите энергию покоя электрона (в джоулях и электрон-вольтах), массу электрона, его полную и кинетическую энергию.
7. Чему равно релятивистское сокращение метрового стержня, который мог бы двигаться мимо нас со скоростью  $1,8 \cdot 10^8$  м/с? (0,2 м).
8. Во сколько раз движущийся со скоростью  $V = 0,99 c$  электрон тяжелее покоящегося? (22,4 р).
9. Какому изменению массы соответствуют изменения энергии на 1 Дж ( $1,1 \cdot 10^{-17}$  кг)?
10. Тело движется со скоростью  $2 \cdot 10^8$  м/с. Во сколько раз увеличится при этом плотность тела?

### 3.5. Контрольные вопросы

1. Сформулируйте преобразования Лоренца.
2. Постулаты Эйнштейна.
3. Что означает лоренцево сокращение длины?
4. Что означает замедление течения времени. Замедление распада ионов?
5. В чем заключается парадокс близнецов?
6. Как изменяется масса в зависимости от скорости?
7. В чем суть общей теории относительности?
8. В чем заключается принцип эквивалентности?
9. Что такое гравитационное красное смещение?
10. Что такое гравитационные волны?

### 3.6. Экспериментальная проверка физических законов

#### 1. Определение гравитационной постоянной

*Цель работы:* изучение законов гармонического колебательного движения математического маятника.

Описание установки и метода измерений

Основное свойство гравитационного поля заключается в том, что на всякое тело массой  $m$ , внесенное в поле, действует сила тяготения, то есть

$$F = mg . \quad (3.1)$$

С другой стороны, если тело массой  $m$  находится в гравитационном поле Земли, масса которой  $M$ , то сила гравитационного притяжения, действующая на это тело со стороны Земли, равна

$$F = G \frac{mM}{R^2} , \quad (3.2)$$

где  $R$  – расстояние между центром Земли и телом.

Под действием сил гравитационного поля Земли математический маятник совершает гармонические колебания. Период малых колебаний математического маятника

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} , \quad (3.3)$$

где  $l$  – длина маятника.

Из формул можно найти выражение для гравитационной постоянной:

$$G = \frac{4\pi^2 l R^2}{T^2 M} . \quad (3.5)$$

Таким образом, измеряя период колебаний математического маятника и его длину при известных значениях радиуса Земли и ее массы можно определить гравитационную постоянную – одну из фундаментальных физических постоянных.

Период колебаний измеряют с помощью секундомера, отклоняя шарик на малый угол  $5^\circ$ . Измеряют длительность  $tN$  колебаний и рассчитывают период  $T = t / N$ . Определение средней величины ускорения свободного падения  $\bar{g}$  и расчет ошибки можно проделать двумя методами: а) провести многократные измерения  $l$  и  $t$  для одной фиксированной длины маятника и рассчитать ошибку при неизменяемых условиях; б) провести однократные измерения  $l$  и  $t$  для разных длин маятника и рассчитать ошибку при изменяемых условиях.

## **ГЛАВА 4**

### **ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В ПРИРОДЕ**

#### **4.1. План семинарского занятия**

1. Закон сохранения энергии. Механическая, тепловая, внутренняя энергия системы. Понятие замкнутости системы. Энергия химической связи. Фотосинтез. Энергия взаимодействия нуклонов, кварков в адронах.
2. Закон сохранения импульса, момента импульса. Законы Кеплера.
3. Законы сохранения в микромире. Специфические законы сохранения в теории элементарных частиц. Внутренний момент импульса элементарной частицы.
4. Закон сохранения заряда. Закон сохранения барионов.
5. Закон сохранения массы. Масса инертная и гравитационная.
6. Связь массы и энергии.
7. Закон сохранения симметричности.

#### **4.2. Теоретическое обоснование темы**

Любое тело (или совокупность тел) представляет собой, по существу, систему материальных точек, или частиц. Если система с течением времени изменяется, то говорят, что изменяется ее состояние. Состояние системы характеризуется одновременным заданием положений (координат) и скоростей всех ее частиц. Зная законы действующих на частицы системы сил и состояние системы в некоторый начальный момент времени, можно, как показывает опыт, с помощью уравнений движения предсказать ее дальнейшее поведение, то есть найти состояние системы в любой момент времени. Так, например, решается задача о движении планет Солнечной системы. Однако детальное рассмотрение поведения системы с помощью уравнений движения часто бывает настолько затруднительно (например, из-за сложности самой системы), что довести решение до конца представляется практически невозможным. А в тех случаях, когда законы действующих сил вообще неизвестны, такой подход оказывается в принципе неосуществимым. Кроме того, существует ряд задач, в которых детальное рассмотрение движения отдельных частиц просто и не имеет смысла (например газ). При таком положении естественно возникает вопрос: нет ли каких-либо общих принципов,

являющихся следствием законов Ньютона, которые позволили бы иначе подойти к решению задачи и помогли бы в какой-то степени обойти подобные трудности. Оказывается, такие принципы есть. Это так называемые законы сохранения.

Как уже было сказано, при движении системы ее состояние изменяется со временем. Существуют, однако, такие величины – функции состояния, которые обладают весьма важным и замечательным свойством сохраняться во времени. Среди этих сохраняющихся величин наиболее важную роль играют энергия, импульс и момент импульса. Эти три величины имеют важное общее свойство аддитивности: их значение для системы, состоящей из частей, взаимодействие которых пренебрежимо мало, равно сумме значений для каждой из частей в отдельности (впрочем, для импульса и момента импульса свойство аддитивности выполняется и при наличии взаимодействия). Именно свойство аддитивности придает этим трем величинам особенно важную роль.

Законы сохранения энергии, импульса и момента импульса имеют, как выяснилось впоследствии, весьма глубокое происхождение, связанное с фундаментальными свойствами времени и пространства – однородностью и изотропностью. А именно: закон сохранения энергии связан с однородностью времени, а законы сохранения импульса и момента импульса – соответственно с однородностью и изотропностью пространства. Сказанное следует понимать в том смысле, что перечисленные законы сохранения можно получить из второго закона Ньютона, если к нему присоединить соответствующие свойства симметрии времени и пространства.

Законы сохранения энергии, импульса и момента импульса относятся к числу тех наиболее фундаментальных принципов физики, значение которых трудно переоценить. Роль этих законов особенно возросла после того, как выяснилось, что они далеко выходят за рамки механики и представляют собой универсальные законы природы. Во всяком случае, до сих пор не обнаружено ни одного явления, где бы эти законы нарушались. Они безошибочно “действуют” и в области элементарных частиц, и в области космических объектов, в физике атома и физике твердого тела и являются одними из немногих наиболее общих законов, которые лежат в основе современной физики.

### 4.3. Примеры решения задач

*Задача 1.* Груз массой 3 кг поднимается с ускорением  $2 \text{ м/с}^2$ . Определите работу, производимую в  $1,5 \text{ с}$  от начала подъема.

Решение:

Высота, на которую груз поднимается за первые секунды,  $t \text{ с}$ :

$$h = \frac{at^2}{2}.$$

На груз действуют две силы – сила тяжести  $mg$  и сила  $T$  натяжения троса:

$$T - mg = ma,$$

отсюда

$$T = m(a + g).$$

Произведенная лебедкой работа равна

$$A = Th = m(g + a) \frac{at^2}{2},$$

$$A = 3000 \text{ кг} (9,8 \text{ м/с}^2 + 2,0 \text{ м/с}^2) \frac{2 \text{ м/с}^2 \cdot 1,5^2 \text{ с}^2}{2} = 79650 \text{ Дж}.$$

*Задача 2.* Найдите среднюю кинетическую энергию поступательного движения одной молекулы гелия, имеющего при давлении  $100 \text{ кПа}$  плотность  $0,12 \text{ кг/м}^3$ .

Решение:

Воспользуемся основным уравнением кинетической теории газов:

$$p = \frac{2}{3} n \overline{W}_0. \quad (4.1)$$

Число молекул в единице объема:

$$n = \frac{N_A}{\mu} \rho, \quad (4.2)$$

где  $\mu$  – молярная масса,  $\rho$  – плотность.

Из формул (1) и (2) следует:

$$\overline{W}_0 = \frac{3}{2} \frac{p}{n} = \frac{3}{2\rho} \frac{p\mu}{N_A}. \quad (4.3)$$

Учитывая данные задачи и табличные значения, а именно:

$$p = 100 \text{ кПа} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}; \quad \rho = 0,12 \text{ кг/м}^3, \\ \mu = 4,0 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}; \quad N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1},$$

и подставляя их в формулу (3), получим:

$$\overline{W}_0 = 8,3 \cdot 10^{-21} \text{ Дж}.$$

#### 4.4. Задачи для самостоятельного решения

1. Определите работу, которую необходимо совершить, чтобы тело массой 5000 кг, находящееся на поверхности Земли, отправить в межпланетное пространство ( $3 \cdot 10^{11}$  Дж).

2. Найдите момент инерции Земли относительно оси вращения, приняв ее за шар радиуса 6400 км с массой  $6 \cdot 10^{24}$  кг ( $9,8 \cdot 10^{37}$  кг·м<sup>2</sup>).

3. Тело запускают на полюсе Земли строго по вертикали с первой космической скоростью 8 км/с. На какое максимальное расстояние от поверхности Земли удалится это тело?

4. Какая часть атмосферного кислорода Земли израсходуется при сжигании двух миллиардов тонн угля?

5. Оценить давление в центре Земли.

#### 4.5. Контрольные вопросы

1. Каким образом закон сохранения момента импульса объясняет наблюдаемую форму Галактик?
2. Как закон сохранения момента импульса отражается на движении планет Солнечной системы?
3. На чем основаны экспериментальные методы исследования элементарных частиц?
4. Почему вокруг НЛО много шума, но нет убедительных фактов?
5. Что называется энергией? Какие виды энергии вы знаете?
6. Что называется потенциальной энергией? Как она определяется?
7. Что такое внутренняя энергия? Виды внутренней энергии.
8. Что такое теплопередача? Каким образом она происходит?
9. Какова роль фотосинтеза в энергетике биосферы и ноосферы?
10. Что общего между различными процессами преобразования тепловой энергии в энергию механическую?

## ГЛАВА 5 ПОЛЕВАЯ ФОРМА МАТЕРИИ

### 5.1. План семинарского занятия

1. Четыре вида фундаментальных взаимодействий. Скалярные и векторные поля. Поля давлений, температур и скоростей.
2. Гравитационное поле. Вектор напряженности. Гравитационный потенциал. Принцип суперпозиции. Силовые линии. Эквипотенциальные поверхности. Закон всемирного тяготения.
3. Взаимодействия: дальнее действие и ближкодействие. Электростатическое поле. Закон Гаусса. Закон Ома. Диэлектрики. Металлы в электрическом поле. Электрическое поле в быту и природе. Пробой.
4. Природа магнитного поля. Поле движущегося заряда. Магнитосфера – магнитный щит Земли. Закон Гаусса для магнитного поля.
5. Закон электромагнитной индукции. Переменные токи. Электромагнитное поле и его характеристики. Электромагнитные волны. Уравнения Максвелла. Продольные и поперечные волны. Распространение волн в упругой среде. Шкала электромагнитных волн. Понятие о радиосвязи.
6. Поля ядерных сил. Различие между ядерными и дальнедействующими силами. Пионное поле. Синтез и распад ядер, дефект масс.
7. Энергия поля. Виды энергии. Взаимодействия вещества и поля.
8. Звездная форма бытия материи. Развитие представлений о свете.

### 5.2. Теоретическое обоснование темы

В классическом представлении различают два вида материи: *вещество* и *поле*. К первому из них относятся атомы, молекулы и все построенные из них тела, структура и форма которых весьма разнообразны. Поле – особая форма материи, иногда его называют физическим полем. К настоящему времени известно несколько разновидностей полей: электромагнитное и гравитационное поля, поле ядерных сил, а также волновые (квантовые) поля, соответствующие различным элементарным частицам.

Среди 4-х видов фундаментальных взаимодействий – гравитационного, электромагнитного, сильного и слабого – электромагнитное взаимодействие занимает 1-е место по широте и разнообразию проявлений. В повседневной жизни и технике мы чаще всего встречаемся с различными видами электромагнитных взаимодействий: силы упругости, трения, силы наших мышц и мышц различных животных.

Долгое время считалось, что взаимодействие между телами может осуществляться через пустое пространство, которое не принимает участия в передаче взаимодействия. Такое предположение составляет сущность *концепции дальнего действия*.

Было доказано, что взаимодействие электрически заряженных тел осуществляется не мгновенно, и перемещение одной заряженной частицы приводит к изменению сил, действующих на другие частицы, не в тот же момент, а лишь спустя конечное время. Каждая электрически заряженная частица создает электромагнитное поле, действующее на другие заряженные частицы, то есть взаимодействие передается через «посредника» – электромагнитное поле. Скорость распространения электромагнитного поля равна скорости света в пустоте – примерно 300 000 км/с. Это и составляет сущность новой концепции – *концепции ближнего действия*, которая распространяется не только на электромагнитное, но и на другие виды взаимодействий. Согласно концепции ближнего действия, взаимодействие между телами осуществляется посредством тех или иных полей (например, тяготение – посредством гравитационного поля), непрерывно распределенных в пространстве.

Математически поле определяется тем, что в каждой точке пространства, где оно имеется, задается некоторая пространственная функция: скалярная, векторная, тензорная или другая, которая в общем случае может изменяться со временем.

В истории физики за последние 300 лет предложены, по крайней мере, четыре разные концепции «эфира»: абсолютное пространство Ньютона, светоносный эфир Гюйгенса, гравитационный эфир Эйнштейна и физический вакуум Дирака. Насколько оправдана интуиция физиков о существовании в природе особой среды – физического вакуума, покажет только будущее.

В 60-х годах XIX в. английский физик Максвелл развил теорию Фарадея об электромагнитном поле и создал теорию электромагнитного поля. Это была первая теория поля. Она касается только электрического и магнитного полей и весьма успешно объясняет многие электромагнитные явления. Уравнения Максвелла не симметричны относительно электрического и магнитного полей. Это связано с тем, что в природе существуют электрические заряды, но нет зарядов магнитных.

В стационарном случае, когда электрическое и магнитное поля не изменяются во времени, источниками электрического поля являются заряды, а источниками магнитного – только токи проводимости. В данном случае электрическое и магнитное поля независимы друг от друга, что и позволяет изучать отдельно постоянные электрические и магнитные поля.

Уравнение Максвелла – наиболее общие уравнения для электрических и магнитных полей в покоящихся средах. В учении об электромаг-

нетизме они играют такую же роль, как законы Ньютона в механике. Из уравнений Максвелла следует, что переменное магнитное поле всегда связано с порождаемым им электрическим полем, а переменное электрическое поле связано с порождаемым им магнитным, то есть электрическое и магнитное поля неразрывно связаны друг с другом – они образуют единое электромагнитное поле.

К электромагнитному полю применим только принцип относительности Эйнштейна, так как факт распространения электромагнитных волн в вакууме во всех системах отсчета с одинаковой скоростью не совместим с принципом относительности Галилея.

### Развитие представлений о свете

Теория Максвелла, являясь обобщением основных законов электрических и магнитных явлений, не только смогла объяснить уже известные к тому времени экспериментальные факты, что также является важным ее следствием, но и предсказала новые явления. Так было предсказано существование *электромагнитных волн – переменного электромагнитного поля, распространяющегося в пространстве с конечной скоростью*. В дальнейшем было доказано, что скорость распространения свободного электромагнитного поля (не связанного с зарядами и токами) в вакууме равна скорости света. Данный вывод и теоретическое исследование свойств электромагнитных волн привели Максвелла к созданию электромагнитной теории света, в соответствии с которой свет также представляет собой электромагнитные волны. Электромагнитные волны были впервые обнаружены немецким физиком Г. Герцем (1857 – 1894), доказавшим, что законы их возбуждения и распространения полностью описываются уравнениями Максвелла.

Согласно современным представлениям, электромагнитная природа света – это лишь одна разновидность проявления света. Другая разновидность характеризуется его квантовой природой. Такое двойственное представление природы света сложилось в результате длительного развития теории света (фотонов).

Теория Максвелла и ее экспериментальное подтверждение приводят к единой теории электрических, магнитных и оптических явлений, базирующихся на представлении об электромагнитном поле.

Согласно электромагнитной теории Максвелла

$$\frac{c}{v} = n = \sqrt{\epsilon\mu} ,$$

где  $c$  и  $v$  – соответственно скорости распространения света в вакууме и в среде с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  и магнитной проницаемостью  $\mu$ ;  $n$  – показатель преломления среды.

Данное соотношение связывает оптические, электрические и магнитные постоянные вещества. По Максвеллу,  $\epsilon$  и  $\mu$  – величины, не зависящие от длины волны света, поэтому электромагнитная теория не смогла объяснить явление дисперсии (зависимость показателя преломления от длины волны). Эта трудность была преодолена в конце XIX в. Х.А. Лоренцем (1853–1928), предложившим электронную теорию, согласно которой диэлектрическая проницаемость зависит от длины волны света. Теория Лоренца, основанная на предположении о колебаниях электронов внутри атома, позволила объяснить явления испускания и поглощения света веществом.

Световые волны занимают лишь небольшой интервал шкалы электромагнитных волн (табл. 1). Они охватывают диапазон от 380 до 770 нм ( $1\text{ нм} = 10^{-9}\text{ м}$ ).

Таблица 1

### Шкала электромагнитных волн

$10^3-10^4$	$10^{-4}-10^{-7}$	$8\cdot 10^{-7}-4\cdot 10^{-7}$	$4\cdot 10^{-7}-10^{-9}$	$2\cdot 10^{-9}-6\cdot 10^{-12}$	Меньше $6\cdot 10^{-12}$
РВ	ИК	В	УФ	РЛ	$\gamma$
Радиоволны	Оптический диапазон			Рентгеновские лучи	$\gamma$ – лучи

Все окружающее нас пространство пронизано электромагнитным излучением. Солнце, окружающие нас тела, антенны радиостанций и телевизионных передатчиков испускают электромагнитные волны, которые в зависимости от частоты носят разные названия: радиоволны (РВ); инфракрасное излучение (ИК); видимый свет (В); рентгеновские лучи (РЛ); гамма-излучение ( $\gamma$ ).

В отличие от механических волн, которые распространяются в веществе – газе, жидкости или твердом теле, электромагнитные волны могут распространяться и в вакууме.

### 5.3. Пример решения задачи

1. Сравнить электростатическую и гравитационную силы, действующие между электроном и протоном.

Решение:

Обе силы – электростатическая и гравитационная – зависят от расстояния между электроном по закону  $\frac{1}{R^2}$ :

$$F_{эл} = -k \frac{q_1 q_2}{R^2}; F_{грав} = G \frac{m_1 m_2}{R^2}.$$

Следовательно, их отношение не зависит от расстояния между телами:

$$\frac{F_{эл}}{F_{грав}} = -k \frac{q_1 q_2}{m_1 m_2 G},$$

где  $k = \frac{1}{9 \cdot 10^9} \frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}$ ,  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{Н \cdot м^2}{кг^2}$ .

В случае взаимодействия электрона и протона это отношение примет вид

$$\frac{F_{эл}}{F_{грав}} = \frac{(6 \cdot 10^{-19})^2}{9 \cdot 10^9 \cdot 6,67 \cdot 10^{-11} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1,67 \cdot 10^{-26}} = 2,3 \cdot 10^{39}.$$

Таким образом, электростатическая сила между элементарными частицами гораздо больше гравитационной силы. Поэтому в атомах существенна только электростатическая сила. В ядрах действуют мощные ядерные силы, которые превосходят электростатические силы, но все же не в такой степени, чтобы последними можно было полностью пренебречь.

Многие важные ядерные эффекты обусловлены электростатическими силами.

## 5.4. Задачи для самостоятельного решения

1. Чему равен гравитационный потенциал поля тяготения Земли на лунной орбите?
2. Чему равен гравитационный потенциал поля тяготения на Земле.
3. Электрический потенциал в некоторой точке пространства равен 800 ед. СГС. Какую потенциальную энергию имеют в этой точке электрон и протон?
4. Во сколько раз сила гравитационного притяжения между двумя протонами меньше их силы электростатического отталкивания? Заряд протона  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл, масса протона  $1,7 \cdot 10^{-27}$  кг (В  $1,25 \cdot 10^{36}$  раз).
5. Электрон, прошедший ускоряющую разность потенциалов 500 В, попал в вакууме в однородное магнитное поле и движется по окружности радиусом 10 см. Определите величину напряженности магнитного поля, если скорость электрона перпендикулярна вектору напряженности магнитного (H=600 А/м).

## 5.5. Контрольные вопросы

1. При каких условиях имеет смысл считать полями следующие величины:
  - а) распределение плотности вещества по объему Земли;
  - б) плотность населения в стране;
  - в) плотность населения в городских кварталах;
  - г) плотность звезд в галактике;
  - д) плотность воздуха в атмосфере.Укажите, какие из полей будут скалярными и какие векторными.
2. Какие два вида материи противопоставляются друг другу в классической физике?
3. Приведите примеры продольных и поперечных волн.
4. Что представляет собой звук? Что такое спектральный состав звука?
5. Что представляет собой электромагнитная волна, излучаемая отдельной частицей?
6. Что является источником когерентного и поляризованного излучения?
7. По каким законам происходит распространение электромагнитных волн в среде с резкими неоднородностями?
8. В чем состоит эффект Доплера и где он применяется?

## 5.6. Экспериментальная проверка физических законов

### *1. Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли*

*Цель работы:* получить общие представления о магнитном поле Земли и приобрести навыки для его измерения.

#### Описание установки и метода измерений

Из закона Био-Савара-Лапласа следует важный вывод – источником магнитного поля Земли являются движущиеся электрические заряды, то есть электрические токи. Знание этого закона позволило предположить, что магнитное поле Земли существует благодаря токам, протекающим в ее недрах.

В настоящее время установлено, что ядро Земли обладает высокой электропроводимостью. За счет градиента температур наблюдаются процессы перемещения вещества, что и обуславливает возникновение электрических токов. Эти токи являются постоянной составляющей магнитного поля Земли. Таким образом, в земном ядре работает своеобразный динамо-механизм (геомагнитное динамо), благодаря которому Земля представляет огромный магнит.

На постоянную составляющую магнитного поля, образованного геомагнитным динамо, накладываются магнитные поля, созданные другими источниками, которые видоизменяют магнитное поле Земли так, что оно отличается от дипольного (как в случае постоянного магнита) и обуславливают его изменение во времени. Наиболее существенны следующие дополнительные поля: 1) мировые материковые аномалии; 2) локальные магнитные аномалии; 3) пульсации магнитного поля Земли.

1. Вывод формулы для измерения горизонтальной составляющей магнитного поля Земли

На рис. 1 с помощью силовых линий изображен общий вид магнитного поля Земли. Магнитная ось образует с географической осью угол  $11^\circ$ . Южный полюс  $S_M$  магнитного поля Земли находится в районе острова Батерст в Канаде. На рис. 1 в некоторых точках показаны направления вектора напряженности магнитного поля  $\vec{H}$  (вектор  $\vec{H}$  направлен по касательной к силовой линии). Как видно из рис. 1, направление вектора  $\vec{H}$  образует с плоскостью горизонта угол  $\alpha$ , который изменяется от  $90^\circ$  (на полюсах) до  $0^\circ$  (на магнитном экваторе).

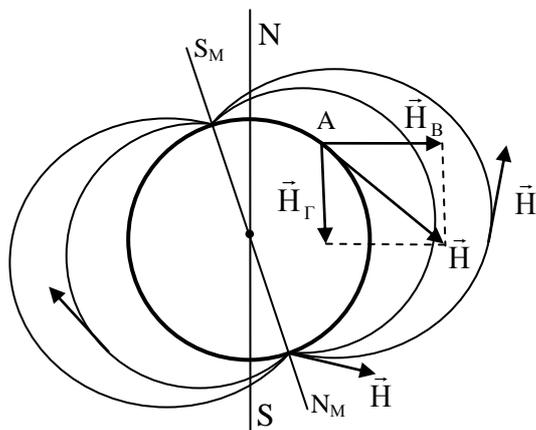


Рис. 1. Магнитное поле Земли

Вектор  $\vec{H}$  может быть разложен на две составляющие относительно горизонта поверхности Земли: горизонтальную составляющую  $\vec{H}_G$  и вертикальную –  $\vec{H}_B$ .

Для практических целей очень важно знать горизонтальную составляющую вектора напряженности магнитного поля Земли  $\vec{H}_Г$ . Так, на магнитную стрелку компаса действует только горизонтальная составляющая  $\vec{H}_Г$ .

В данной работе  $\vec{H}_Г$  определяют с помощью тангенс-буссоли короткой катушки с большим радиусом витков (рис. 2). При прохождении постоянного тока через витки катушки образуется магнитное поле напряженностью  $\vec{H}_К$ , направленное перпендикулярно плоскости витков. В центре тангенс-буссоли находится магнитная стрелка, вращающаяся в горизонтальной плоскости. Концы стрелки движутся вдоль градусной шкалы, позволяющей отсчитывать угол ее поворота.

Если по виткам тангенс-буссоли ток не течет, то магнитная стрелка под действием горизонтальной направляющей вектора напряженности магнитного поля Земли  $\vec{H}_Г$  установится в направлении магнитного меридиана  $S_M N_M$ . После того, как стрелка установится, тангенс-буссоль поворачивают таким образом, чтобы плоскость ее витков совпала с направлением магнитной стрелки, а следовательно с плоскостью магнитного меридиана (на рис. 3 направление стрелки  $\vec{H}_\lambda$  лежит в плоскости витков).

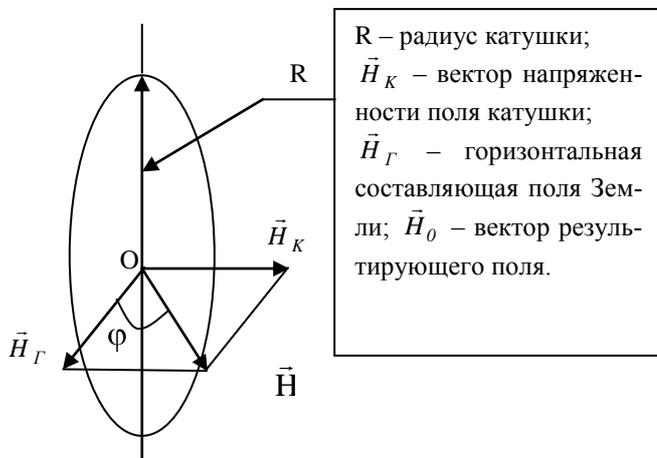


Рис. 2. Тангенс-буссоль

После этого пропускают ток  $i$  по виткам тангенс-буссоли. В результате на магнитную стрелку, кроме поля Земли  $\vec{H}_Г$ , будет действовать и поле катушки  $\vec{H}_К$ . Поэтому магнитная стрелка повернется на угол  $\varphi$  и расположится вдоль равнодействующей  $\vec{H}_0$ , являющейся векторной суммой  $\vec{H}_0 = \vec{H}_Г + \vec{H}_К$ . Учитывая, что по условию опыта  $\vec{H}_Г \perp \vec{H}_К$ , из треугольника (О,  $\vec{H}_Г$ ,  $\vec{H}_0$ ) имеем:

$$\operatorname{ctg} \varphi = \frac{\vec{H}_Г}{\vec{H}_К},$$

откуда

$$\vec{H}_Г = \vec{H}_К \cdot \operatorname{ctg} \varphi.$$

Напряженность магнитного поля кругового тока  $H = \frac{i}{2R}$ , где  $R$  – радиус витка;  $i$  – сила тока. Так как в катушке протекает  $n$  круговых токов ( $n$  – число радиусов), то полная напряженность поля катушки:

$$H_K = \frac{i \cdot n}{2R}.$$

Окончательно получим:

$$\vec{H}_Г = \frac{i \cdot n}{2R} \cdot \operatorname{ctg} \varphi.$$

*Задание.* Провести измерения горизонтальной составляющей вектора напряженности магнитного поля Земли.

Повернуть тангенс-буссоль так, чтобы направление магнитной стрелки  $\vec{H}_Г$  совпадало с плоскостью витков.

Включить источник питания и провести измерения углов  $\varphi$  при двух направлениях тока  $i$ . Измерения провести для 3–5 разных значений тока (от 0 до 100 мА).

Используя результаты измерений  $i$  и  $\varphi$ , по формуле провести расчеты  $\vec{H}_Г$  и рассчитать ошибку  $\Delta \vec{H}_Г$  (постоянные  $R$  и  $n$  указаны на упаковке).

## 2. Определение удельного заряда электрона

*Цель работы:* изучение закономерностей движения заряженных частиц в электрическом и магнитном полях.

### Описание установки и метода измерений

Методы определения удельного заряда электрона основаны на исследовании движения электрона в электрическом и магнитном полях.

В настоящей работе рассматривается метод компенсации электрического и магнитного полей.

В электронно-лучевой трубке можно создать магнитное поле  $\vec{B}$ , которое будет отклонять электронный пучок от прямолинейного движения под действием силы Лоренца:

$$\vec{F}_L = e \vec{v} \times \vec{B}.$$

Кроме того, между обкладками управляющего конденсатора есть электрическое поле, которое тоже влияет на движение электронного пучка. Величина силы, действующей со стороны электрического поля на электрон, зависит от напряженности электрического поля  $\vec{E}$ :

$$\vec{F}_Э = e\vec{E}.$$

При определенном соотношении между величиной и направлением напряженности электрического поля  $\vec{E}$  и индукцией магнитного поля  $\vec{B}$  можно уравновесить между собой силы, действующие на электрон со стороны электрического и магнитного полей, то есть

$$\vec{F}_L = \vec{F}_Э.$$

Если эти силы направлены в разные стороны, то электронный пучок не будет отклоняться от прямолинейного распространения.

Электроны приобретают скорость за счет анодного напряжения  $U_a$ :

$$\frac{mV^2}{2} = e \cdot U_a, \quad U_a = 1500 \text{ в},$$

следовательно, скорость электронов равна

$$V = \sqrt{\frac{e}{m} \cdot 2U_a}.$$

Затем они попадают в управляющий конденсатор, к пластинам которого приложена разность потенциалов  $U_{\kappa}$ , значит, на каждый электрон действует сила

$$F_{\text{э}} = eE = e \frac{U_{\kappa}}{d}, \quad d = 1,15 \cdot 10^{-3} \text{ м},$$

где  $d$  – расстояние между пластинами управляющего конденсатора. Приравнявая уравнения (12) и (17) и учитывая выражение (16), получим:

$$\frac{e}{m} = \frac{1}{2U_A} \left( \frac{U_{\kappa}}{B \cdot d} \right)^2.$$

Вычисления индукции магнитного поля производятся по величине тока  $J$  в катушках:

$$B = \mu_0 \mu \cdot n_0 \cdot J, \quad \mu = 1,$$

где  $n_0$  – число витков на единицу длины,  $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ 24/м}$ .

Окончательно получим:

$$\frac{e}{m} = R \left( \frac{U_{\kappa}}{J} \right)^2,$$

где  $R = \frac{1}{2U_A \mu_0 n_0 d^2}$  – неизменная величина при всех повторяемых измерениях.

*Задание.* Определить значение удельного заряда электрона методом компенсации электрического и магнитного полей:

1. Получить на экране осциллографа электронный луч.
2. Изменяя силу тока в катушке, сместить луч.
3. Подобрать такое напряжение  $U_{\kappa}$  на управляемом конденсаторе, при котором луч сфокусируется в точку.
4. Измерения провести не менее 3-х раз. Для всех случаев рассчитать значение удельного заряда электрона и оценить ошибку измерений.
5. Сравнить полученный результат с табличными данными.

# ГЛАВА 6

## КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА СВЕТА

### 6.1. План семинарского занятия

1. История развития представлений о природе света
2. Электромагнитная природа света.
3. Светимость звезд. Абсолютная звездная величина.
4. Законы отражения и преломления света. Полное внутреннее отражение.
5. Интерференция света. Когерентность. Кольца Ньютона.
6. Дифракция света. Дифракционная решетка.
7. Дисперсия света. Виды спектров. Ультрафиолетовое и инфракрасное излучения. Спектр Солнца и звезд.
8. Квантовая гипотеза Планка. Фотоны. Внешний фотоэффект. Уравнение Эйнштейна. Давление света. Химическое действие света.
9. Понятие о корпускулярно-волновой природе света

### 6.2. Теоретическое обоснование темы

Представление о воздействии света как о некотором объективном процессе впервые возникло в античный период. Термин «свет», применявшийся для обозначения этого процесса, действующего на глаз и вызывающего зрительные ощущения, получил в дальнейшем более широкий смысл. Оптика (от греческого «оптикас» – зрительный), как первоначально называлось учение о видимом свете, впоследствии стала учением о коротких электромагнитных волнах вообще.

С конца XVII века в оптике шла борьба между *корпускулярной* и *волновой* теориями света. Автором первой теории был И.Ньютон, считающий свет потоком корпускул (частиц), выбрасываемых светящимся телом, летящим в пространстве прямолинейно. С этим представлением хорошо согласовывались закон прямолинейного распространения света, законы отражения и преломления света.

Волновую теорию предложил современник Ньютона Х.Гюйгенс. Она основывалась на аналогии между световыми явлениями и волнами, наблюдаемыми на поверхности воды или какой-либо жидкости.

Позже М.Фарадею удалось показать, что оптические явления не представляют собой изолированного класса процессов и что существует связь между оптическими и магнитными явлениями.

Наконец, теоретические исследования Дж. Максвелла (1865) показали, что изменения электрического и магнитного полей не локализованы в пространстве, а распространяются со скоростью, равной скорости света.

Итак, по Максвеллу, свет – *электромагнитная волна*, распространяющаяся в среде со скоростью

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}},$$

где  $c$  – скорость света,  $\epsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость,  $\mu$  – относительная магнитная проницаемость.

По определению, показатель преломления среды:

$$n = c/v = \sqrt{\epsilon\mu}.$$

Это соотношение связывает оптические, электрические и магнитные характеристики вещества. Однако из него не следует зависимость показателя преломления от длины световой волны (это явление названо дисперсией света).

Объяснение дисперсии было сделано Г.А. Лоренцем, создавшим *электронную* теорию света. Однако и она не могла объяснить некоторые опытные факты. Эти затруднения были объяснены *квантовой теорией света*, выдвинутой М. Планком. Квантовую теорию света в дальнейшем в своих трудах развивали А.Эйнштейн, Н.Бор, В.Гейзенберг, Э.Шредингер, П.Дирак и др.

Под светом в настоящее время понимают электромагнитное излучение, воспринимаемое человеческим глазом. Длина световых волн лежит в интервале от 0,38 до 0,76 мкм. В физике часто светом называют и невидимые электромагнитные волны, лежащие за пределами этого интервала: от 0,01 до 340 мкм.

Максвелл показал, что:

- а) свет имеет электромагнитную природу;
- б) электромагнитные волны поперечны;
- в) могут распространяться как в среде, так и в вакууме.

Скорость света в вакууме больше, чем в других средах и не зависит от скорости источника.

Скорость света в вакууме  $c = (299992,5 \pm 0,4) \cdot 10^3$  м/с. Для решения задач можно принимать величину  $c$ , равной  $3 \cdot 10^8$  м/с.

### 6.3. Примеры решения задач

1. Давление монохроматического света с длиной волны  $\lambda = 0,6$  мкм на черную поверхность равно  $10^{-7}$  н/м<sup>2</sup>. Сколько фотонов падает каждую секунду на 1 м<sup>2</sup> поверхности?

Решение:

Давление света определяется формулой

$$p = \frac{J}{C}(1 + \rho),$$

где  $J = \frac{\Phi}{S}$  – энергетическая освещенность поверхности;  $\rho$  – коэффициент отражения, для черной поверхности  $\rho = 0$ ,  $c$  – скорость света.

Известно, что поток излучения  $\Phi = nh\nu$ , следовательно:

$$p = \frac{nh\nu}{cs} = \frac{nh \frac{c}{\lambda}}{cs} = \frac{nhc}{c\lambda s} = \frac{nh}{\lambda s}, \text{ отсюда } n = \frac{p\lambda s}{h}$$

$$n = \frac{10^{-7} \cdot 0,6 \cdot 10^{-6} \cdot 1}{6,62 \cdot 10^{-34}} \approx 9 \cdot 10^{19} \text{ c}^{-1}.$$

Ответ:  $n \approx 9 \cdot 10^{19} \text{ c}^{-1}$ .

2. Найти энергию и длину волны излучения, масса фотонов которого равна массе покоя электрона.

Решение:

Энергия фотона  $E = h\nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$ . Масса фотона  $m = \frac{E}{c^2}$  по условию равна массе покоя электрона  $m = m_e$ . Тогда энергия фотона при этом должна быть:

$$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{hc}{m_e c} = \frac{h}{m_e}.$$

Вычислим энергию фотона:

$$E = 9,1 \cdot 10^{-31} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \approx 8,2 \cdot 10^{-14} \text{ Дж.}$$

Длина волны излучения:

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 3 \cdot 10^8} \approx 2,4 \cdot 10^{-12} \text{ м.}$$

Ответ:  $E = 8,2 \cdot 10^{-14} \text{ Дж.}$

$$\lambda \approx 2,4 \text{ Пм.}$$

## 6.4. Задачи для самостоятельного решения

1. Работа выхода электрона из калия равна  $3 \cdot 10^{-19}$  Дж. Будет ли наблюдаться фотоэффект при освещении калия светом с длиной волны 0,7 мкм?

2. Определите энергию, массу и импульс фотона видимого света с длиной волны  $\lambda = 500$  нм.

3. Протон летит со скоростью  $4,6 \cdot 10^4$  м/с. Какая длина волны соответствует этому протону?

4. На поверхность площадью  $100 \text{ см}^2$  падает 63 Дж световой энергии. Найти величину светового давления в случаях, когда поверхность полностью отражает все лучи, полностью поглощает все лучи.

5. На какую поверхность – чёрную или белую – лучи оказывают большее давление?

6. Солнце находится на высоте  $30^\circ$  над горизонтом. Вычислить освещённость земной поверхности, если известно, что при нахождении Солнца в зените освещённость земной поверхности равна 10 000 лк.

7. На горизонтальном дне озера глубиной 1,8 м лежит плоское зеркало. На каком расстоянии  $S$  от места вхождения луча в воду этот луч выйдет на поверхность воды после отражения от зеркала? Угол падения луча  $30^\circ$ .

8. Какому числу колебаний в секунду соответствует длина волны 800 нм?

9. Длина волны красных лучей в воздухе 700 нм. Какова длина волны этих лучей в воде?

10. Найти наибольший порядок спектра для жёлтой линии натрия с длиной волны 589 нм, если период дифракционной решётки равен 2 м.

## 6.5. Контрольные вопросы

1. Какова природа света?
2. Какая существует зависимость между электрическими и магнитными свойствами среды и показателем преломления?
3. Чему равна скорость света в вакууме?
4. Что характеризует видимая звёздная величина?
5. Что такое светимость звезды?
6. Что называется абсолютной звёздной величиной и что она характеризует?
7. Сформулируйте законы отражения света, преломления света.
8. Что называют предельным углом полного отражения?
9. Что называют интерференцией света?
10. Какие волны называют когерентными?
11. Сформулируйте условие минимумов и максимумов интерференции?
12. Как объяснить цвета тонких плёнок?
13. Что называют дифракцией света? При каких условиях она наблюдается?
14. Сформулируйте условие главных максимумов.
15. Что называют дисперсией света?

16. Что такое спектр? Какие виды спектров вы знаете?
17. Расскажите об инфракрасном и ультрафиолетовом излучениях и их свойствах.
18. Сформулируйте гипотезу Планка. Что такое квант, чему равна его энергия?
19. Чему равна энергия, масса, импульс фотона?
20. Объясните уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта.
21. Каково давление света на основании квантовой теории?
22. Что такое корпускулярно-волновой дуализм?
23. Какой свет называют естественным, поляризованным?
24. Какие способы получения поляризованного света вы знаете?
25. Объясните цвет прозрачных и непрозрачных тел.

## 6.6. Экспериментальная проверка физических законов

### 1. Определение главного фокусного расстояния собирающей и рассеивающей линз

*Цель работы:* определить главное фокусное расстояние и оптическую силу собирающей и рассеивающей линз.

#### Теория и описание метода измерений

Для определения главного фокусного расстояния линз применяется оптическая скамья, снабженная ползунками, на которых имеются осветитель с изображением предмета (стрелки), экран и линзы.

При помощи собирающей линзы можно получить как увеличенное, так и уменьшенное действительное изображение и этим воспользоваться для нахождения главного фокусного расстояния. Как известно, для тонкой линзы имеет место соотношение:

$$\frac{1}{F_1} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}. \quad (6.1)$$

Следовательно, для определения главного фокусного расстояния нужно получить на экране чёткое изображение предмета, измерить расстояние от линзы до предмета  $d$  и от линзы до экрана  $f$ , а затем произвести расчет  $F_1$ .

При помощи рассеивающей линзы нельзя получить действительное изображение, поэтому для определения главного фокусного расстояния нужно составить систему из собирающей и рассеивающей линз, причем такую, чтобы она была собирающей.

Для системы двух тонких линз, согласно методу, предложенному Бесселем, можно определить главное фокусное расстояние системы при помощи двух измерений:

$$F = \frac{(L+l)(L-l)}{4L}, \quad (6.2)$$

где  $L$  – расстояние от предмета  $\Pi$  до экрана  $\Xi$ ,  $l$  – расстояние от положения линзы  $I$ , при которой получено увеличенное изображение до положения  $II$ , при котором найдено уменьшенное значение (рис. 3).

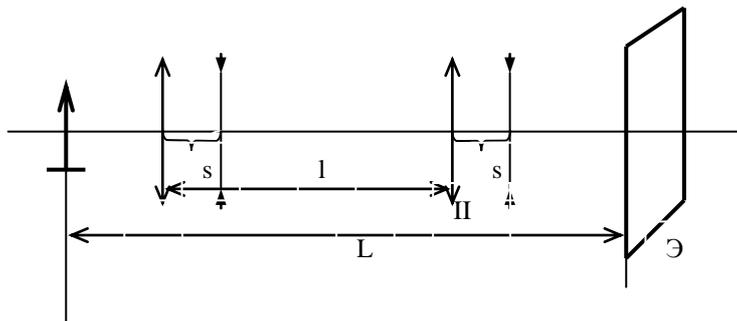


Рис. 3

Главное фокусное расстояние рассеивающей линзы рассчитывается по формуле

$$F_2 = \frac{(F_1 - s) \cdot F}{F_1 - F}. \quad (6.3)$$

где  $S$  – расстояние между линзами системы.

#### Задания

1. Подготовить бланк отчета с таблицей для записи результатов измерений и вычислений.
2. Установить осветитель и экран на концах скамьи, измерить расстояние  $L$  от предмета до экрана и поместить между ними двояковыпуклую линзу.
3. Включив осветитель, передвинуть линзу и найти такое ее положение, при котором на экране получается уменьшенное (увеличенное) изображение предмета.
4. Измерить величины  $f$  и  $d$  и определить главное фокусное расстояние собирающей линзы. Данные занести в таблицу.
5. Для определения фокусного расстояния рассеивающей линзы используют собирающую линзу с найденным значением главного фокусного расстояния и рассеивающую, фокусное расстояние которой нужно определить. Фокусное расстояние системы определяют по методу Бесселя.

Перемещая систему линз, найти величину  $l$ . При этом нужно помнить, что расстояние  $S$  между линзами должно сохраняться неизменным. Данные занести в таблицу.

6. Найти  $F_2$  (главное фокусное расстояние рассеивающей линзы).
7. Рассчитать ошибку вычисления и сделать вывод.

## 2. Определение длины волны лазера

*Цель работы:* определить длину волны лазера методом дифракции.

Теория и описание метода измерений

В работе для определения длины волны лазера используется дифракционная решетка с периодом  $\frac{1}{100}$  мм или  $\frac{1}{50}$  мм (период указан на решетке). Решетка закрепляется держателем и может перемещаться вдоль оптической скамьи, на одном конце которой установлен лазер, на другом – экран с делениями.

Передвигая решетку, можно получить дифракционную картину: дифракционные спектры 1-го, 2-го и т.д. порядка.

Длина волны  $\lambda$  определяется из формулы

$$d \cdot \sin \varphi = k\lambda, \quad (6.4)$$

где  $d$  – период решетки,  $k$  – порядок спектра,  $\varphi$  – угол, под которым наблюдается соответствующий максимум.

Поскольку углы, при которых наблюдается максимум 1-2 порядка, малы, то вместо синусов углов можно использовать их тангенсы.

Расстояние  $a$  отсчитывают по линейке от решетки до экрана, расстояние  $b$  – по шкале экрана от центра спектра до выбранной линии спектра. Окончательная формула для определения длины волны имеет вид

$$\lambda = \frac{db}{ka}. \quad (6.5)$$

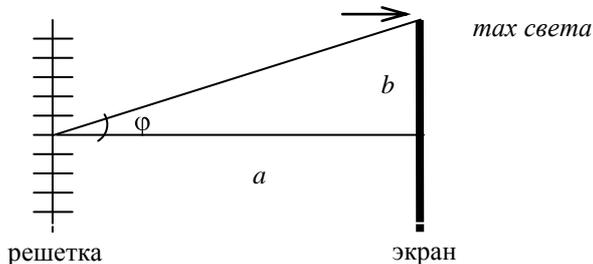


Рис. 4

Из рисунка 4 видно, что  $\operatorname{tg} \varphi = \frac{a}{b}$ .

*Задания*

1. Подготовить бланк отчета для записи результатов измерений и вычислений.

2. Собрать измерительную установку. Перемещая решетку в держателе, установить ее так, чтобы на экране наблюдались чёткие дифрак-

ционные максимумы. Следить за тем, чтобы спектры располагались параллельно шкале экрана.

3. Произвести измерения величин  $a$ ,  $b$  и рассчитать длину волны в спектре 1-го порядка справа и слева от щели. Определить среднее значение результатов измерения.

4. Прodelать то же для спектра 2-го порядка.

5. Рассчитать абсолютную и относительную погрешности. Сделать вывод.

6. Не проводя дополнительных измерений, вывести формулу и просчитать величину максимального порядка спектра  $k_{\max}$ . Объяснить результат.

### 3. Определение постоянной Планка и работы выхода электронов

Цель работы: изучить явление внешнего фотоэффекта, определить постоянную Планка и работу выхода электронов из цезия.

#### Теория и описание метода измерений

Фотоэлектрическим эффектом называется физическое явление, заключающееся в том, что твердые тела и жидкости выбрасывают со своей поверхности электроны под воздействием электромагнитного излучения. Экспериментально установлены следующие закономерности внешнего фотоэффекта:

1) количество эмитируемых электронов пропорционально световому потоку – закон Столетова;

2) максимальная энергия фотоэлектронов возрастает с частотой падающего света и не зависит от его интенсивности – закон Эйнштейна;

3) для любого вещества существует граничная длина волны света (называемая красной границей фотоэффекта), выше которой фотоэффект невозможен.

Объяснить все отмеченные выше закономерности можно с помощью квантовых представлений о свете. Планк установил, что энергия фотона пропорциональна частоте света  $E = h\nu$ , где  $h$  – постоянная Планка  $6,62 \cdot 10^{-23}$  Дж с. Условие эмиссии электрона с поверхности вещества имеет вид

$$h\nu \geq A. \quad (6.6)$$

Так как  $\nu = c / \lambda$ , то из формулы (6.6) следует

$$\lambda \leq h \cdot c / A. \quad (6.7)$$

В формулах (6.6) и (6.7)  $\lambda$  – длина световой волны,  $c$  – скорость света,  $A$  – работа выхода. Часть энергии фотона, равная  $(h\nu - A)$ , переходит в кинетическую энергию фотоэлектрона:

$$h\nu - A = m\nu^2 / 2, \quad h\nu = A + m\nu^2 / 2. \quad (6.8)$$

Соотношение (6.8) называется *уравнением Эйнштейна*.

В данной работе явление фотоэффекта изучается с помощью фотоэлемента, представляющего собой стеклянный вакуумный баллон, на внутреннюю поверхность которого нанесен фоточувствительный слой (фотокатод). Анод расположен в центре баллона. При освещении фотокатода монохроматическим светом частоты  $\nu$  в цепи фотоэлемента возникает ток, который можно прекратить, приложив некоторое напряжение  $U$  к электродам фотоэлемента. Прекращение фототока наступает при запирающем напряжении  $U$ , определяемом условием:  $eU = mv^2/2$ , где  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл – заряд электрона.

Таким образом, запирающее напряжение есть линейная функция частоты света, график зависимости  $U(\nu)$  изображен на рис. 5.

Воспользовавшись уравнением Эйнштейна (6.8), получим:

$$U = h\nu/e - A/e. \quad (6.9)$$

Формулу (6.9) можно использовать для определения постоянной Планка и работы выхода как графическим, так и аналитическим методом.

Для того чтобы измерить запирающее напряжение, необходимо: 1) поставить ключ в положение, соответствующее подключению источника питания; 2) установить определенную частоту света, идущего из монохроматора, по показанию шкалы барабана и градуировочному графику; 3) добиться исчезновения фототока, вращая ручку потенциометра. Запирающее напряжение измеряется при  $N = 5-10$  частотах света.

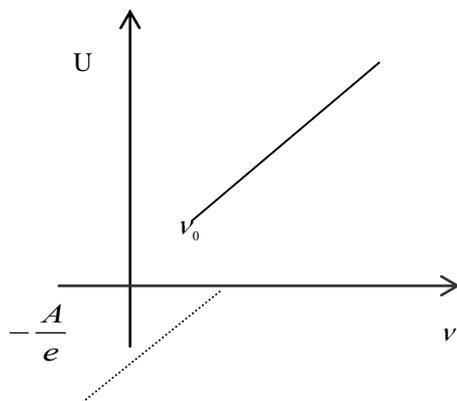


Рис. 5

#### Задания

Определить запирающее напряжение  $U_i$  при частотах  $\nu_i$ .

Построить график зависимости  $U(\nu)$ . Поскольку ожидаемая зависимость  $U(\nu)$  линейная, будем аппроксимировать ее линейной функцией  $U = a\nu + b$ . Параметр  $a$  равен  $h/e$ ,  $b = -A/e$ , где  $e$  – заряд электрона.

Определить постоянную Планка и работу выхода, а также их погрешности.

# ГЛАВА 7

## ТЕОРИЯ ПОРЯДКА И ХАОСА. ЭНТРОПИЯ И ИНФОРМАЦИЯ

### 7.1. План семинарского занятия

1. Обратимые и необратимые процессы для замкнутых и открытых систем.
2. Термодинамическая вероятность данного состояния.
3. Второе начало термодинамики. Вечный двигатель.
4. Энтропия, ее статистическое толкование.
5. Текущее равновесие и внутренняя релаксация. Самоорганизация.
6. Функция диссипации. Понятия «диссипативная система» и «диссипативная структура».
7. Информация. Какова её функция и природа?
8. Фазовое пространство и его примеры.

### 7.2. Теоретическое обоснование

В современной науке в основе представлений о строении материального мира лежит системный подход, согласно которому любой объект материального мира может быть рассмотрен как сложное образование, включающее в себя составные части, организованные в целостность. Для обозначения целостности объектов в науке было выработано понятие системы. Система представляет собой совокупность элементов и связей между ними. Понятие *элемент* означает минимальный, далее уже неделимый компонент в рамках системы. Элемент является таким по отношению к данной системе, в других же отношениях он сам может представлять сложную систему. Совокупность связей между элементами образует структуру системы.

Природные объекты представляют собой упорядоченные структурированные иерархические организованные системы. В естественных науках выделяются два больших класса материальных систем: системы неживой природы и системы живой природы. В неживой природе в качестве структурных уровней организации материи выделяют элементарные частицы, атомы, молекулы, поля, физический вакуум, макроскопические тела, планеты, галактики и системы галактик – метagalaktiku.

В живой природе к структурным уровням организации материи относят системы до клеточного уровня – нуклеиновые кислоты и белки; клетки как особый уровень биологической организации; многоклеточные организмы растительного и животного мира; надорганизменные

структуры, включающие в себя виды, популяции и биценозы и, наконец, биосферу как всю массу живого вещества.

В природе все взаимосвязано, поэтому можно выделить такие системы, которые включают в себя как элементы живой, так и неживой природы – биогеоценозы. Системы бывают *замкнутые* и *открытые*. Замкнутая система – эта система, которая не обменивается с окружающей средой ни энергией, ни веществом. Все остальные системы открытые. Все процессы, происходящие в этих системах, делятся на обратимые и необратимые. Обратимым называется процесс, который отвечает следующим условиям:

1. Его одинаково легко можно провести в двух противоположных направлениях.

2. В каждом из этих направлений система проходит через одни и те же промежуточные состояния.

3. После проведения прямого и обратного процесса система и окружающие ее тела возвращаются к исходному состоянию.

Примером обратимого процесса могут служить гармонические колебания маятника в вакууме при отсутствии трения. Но в реальных условиях невозможно избежать трения, как и достичь абсолютного вакуума, то есть исключить сопротивления среды. Не бывает абсолютно упругих столкновений. Таким образом, все *реальные процессы необратимы*.

В основе термодинамики лежат два закона, относящиеся к свойствам энергии и энтропии системы. Согласно первому закону энергия сохраняется в любых процессах. Возрастание внутренней энергии системы складывается из подведенной к системе теплоты и работы, совершенной над системой.

Энтропия  $S$  является аддитивной функцией состояния системы; она равна сумме энтропий ее подсистем. Если в систему поступает теплота при температуре  $T$ , то энтропия системы увеличивается на величину  $\frac{Q}{T}$ . Согласно второму закону термодинамики энтропия замкнутой системы может только оставаться неизменной или возрастать. Сохраняясь подобно энергии в обратимых процессах, энтропия возрастает в необратимых процессах. Тем самым с помощью энтропии задается направленность процесса. Так, при передаче тепла от нагретого тела к холодному изменение энтропии положительно.

Тепловая энергия переходит от нагретого тела к более холодному.

Энергия любого вида, выработанная для производства полезной работы, в конечном счете диссипирует, рассеивается в виде тепла. Диссипация – неизбежный переход энергии в менее работоспособную форму – сопровождает любой реальный термодинамический процесс. И

рано или поздно изолированная система приходит в состояние равновесия, соответствующее максимальному значению энтропии. Поэтому с точки зрения классической термодинамики существование мира носит эпизодический характер гигантской флуктуации. Мир имеет свое начало и неизбежно заканчивается хаосом, "тепловой смертью".

Диссипативные структуры могут образовываться только в открытых системах. Только в них возможен приток энергии, компенсирующий потери за счет диссипации и обеспечивающий существование более упорядоченных состояний.

Диссипативные структуры возникают в макроскопических системах, то есть в системах, состоящих из большого числа элементов (атомов, молекул, макромолекул, клеток и т.д.). Благодаря этому возможны коллективные, синергетические, взаимодействия, необходимые для перестройки системы.

Для возникновения диссипативных структур нелинейные уравнения должны при определенных значениях управляющих параметров допускать изменение симметрии решения. Такое изменение выражается, например, в переходе от молекулярного теплопереноса к конвективному переносу по ячейкам Бенара.

Открытые системы, в которых наблюдается прирост энтропии, получили название диссипативных. В таких системах энергия упорядоченного движения переходит в энергию неупорядоченного хаотического, то есть тепло. Если замкнутую систему вывести из состояния равновесия, то в ней начнутся процессы, возвращающие ее к состоянию равновесия, в котором ее энтропия достигает максимального значения. Со временем степень неравновесности будет уменьшаться, однако в любой момент времени ситуация будет неравновесной. В случае открытых систем отток энтропии наружу может уравновесить ее рост в самой системе. В этих условиях может возникнуть и поддерживаться стационарное состояние. Такое состояние Берталанфи назвал текущим равновесием. По своим характеристикам текущее равновесие может быть равновесным состоянием. В этом случае производство энтропии минимально (теорема Пригожина). Если же отток энтропии превышает ее внутреннее производство, то возникают и разрастаются до макроскопического уровня крупномасштабные флуктуации. При определенных условиях в системе начинает происходить самоорганизация – создание упорядоченных структур из хаоса. Эти структуры могут последовательно переходить во все более сложные состояния. Такие образования в диссипативных системах Пригожин назвал диссипативными структурами. Образование этих структур происходит не из-за внешнего воздействия, а за счет внутренней перестройки системы, поэтому это явление получило название *самоорганизации*. Для описания процессов самоорганизации

уже нельзя пользоваться представлениями линейной термодинамики необратимых процессов.

Процессы самоорганизации описываются *нелинейными уравнениями для макроскопических функций*. Оказалось, что под действием крупномасштабных флуктуаций возникают коллективные формы движения, называемые модами, между которыми возникает конкуренция, происходит отбор наиболее устойчивых из них, что и приводит к спонтанному возникновению макроскопических структур. Известный немецкий физик Герман Хакен подчеркивал роль коллективного поведения подсистем, образующих систему, и потому ввел для процессов самоорганизации обобщающее название – «синергетика», что в переводе с греческого языка означает сотрудничество, совместное действие. Синергетика не самостоятельная научная дисциплина, но новое междисциплинарное научное направление. Синергетика родилась на базе термодинамики и статистической физики. В основе теории открытых систем лежат фундаментальные физические законы. Объектом синергетики могут быть не любые системы, а только те, которые отвечают как минимум двум условиям. Прежде всего они должны быть: открытыми, то есть обмениваться веществом или энергией с внешней средой; и существенно неравновесными, или находиться в состоянии, далеком от термодинамического равновесия.

Но именно такими является большинство известных нам систем.

Сложнее обстоит дело со Вселенной в целом. Если считать Вселенную открытой системой, то что может служить ее внешней средой? Современная физика полагает, для существующей Вселенной такой средой является вакуум.

*Что такое информация, какова её функция  
и на чем основывается понимание её природы?*

Информацией называются определенные сведения об объекте, событии или явлении. Функция информации состоит в направлении определенных процессов, ведущих, как правило, к самоорганизации. Обладание информацией позволяет осуществлять ту или иную деятельность. Понимание природы позволяет создавать информацию, манипулировать ею, извлекать из неё какие-то выводы.

*Количественные характеристики информации. Каким свойством, отличающим её от других физических величин, обладает информация?*

Информацию, получаемую объектом контроля (исследования), передаваемую по каналам связи, обкатываемую и воспроизводимую приборами, можно определить количественно. Количественная характеристика информации не зависит от ее физического содержания, от физической природы сигналов, ее передающих, и от способа реализации приборов. В результате приема получателем сообщения о контролируемом или изучаемом объекте, явлении, событии у него уменьшается степень неопределенности

сведений о них или степень неопределенности сложившегося у него образа изучаемого объекта. Имеются статистические характеристики этой степени неопределенности. Количеством информации, содержащимся в сообщении, считается разность значений двух степеней неопределенности: 1) до получения сообщения; 2) после получения сообщения.

При измерениях происходит отбор, передача, обработка и воспроизведение информации непрерывного характера, то есть количественных значений различных непрерывных физических величин. Но чтобы понять, каким образом оценивается количество информации при передаче непрерывных сообщений, необходимо оценить количество информации в дискретных сообщениях, то есть в сообщениях об отдельных событиях или дискретных состояниях объектов. Информация может устаревать, что связано с самой ее природой. В этом случае ценность информации снижается или вовсе пропадает. Для того чтобы поддерживать информативность на постоянном уровне, необходим постоянный приток посторонней информации. Однако процесс устаревания информации необязателен.

### 7.3. Примеры решения задач

1. Камень массой 10 кг упал с высоты 20 м на землю. Температура камня и окружающей среды 20 градусов по шкале Цельсия. Определите изменение энтропии системы камень – Земля.

Решение:

Падение камня – процесс необратимый. Изменение энтропии в этом процессе можно найти, используя первое начало термодинамики:

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

Так как  $\Delta Q = T\Delta S$ , то  $T\Delta S = \Delta U + A$ .

По условию задачи температура, а следовательно, и внутренняя энергия не изменяются ( $\Delta U = 0$ ). Работа  $A$  равна изменению потенциальной энергии камень – Земля:

$$A = \Delta E_{\text{пот}} = mgh.$$

Поэтому  $T\Delta S = mgh$ .

Отсюда

$$\Delta S = mgh / T, \Delta S = 6,688 \text{ Дж/ К}.$$

### 7.4. Задачи для самостоятельного решения

1. Температура нагревателя в три раза выше температуры холодильника. Какую часть энергии, полученной в цикле Карно от нагревателя, газ отдает холодильнику?

2. Докажите, что при смешении двух одинаковых количеств воды с различной температурой энтропия системы возрастает.

3. Определите изменение энтропии при самопроизвольном изотермическом сжатии 1 моля кислорода от объема  $V_0$  до объема  $0,5 V_0$ .

## 7.5. Контрольные вопросы

1. Поясните понятия обратимого и необратимого процесса.
2. Что такое термодинамическая вероятность?
3. Почему для практического анализа реальных процессов используют энтропию, а не термодинамическую вероятность?
4. Каким образом изменяется энтропия в замкнутых системах в зависимости от характера процессов? Приведите примеры.
5. Что понимается под вечным двигателем второго рода?
6. Какие системы могут находиться в высокоупорядоченном состоянии? Что является необходимым условием "самоорганизации"?
7. Чему соответствует состояние равновесия и каким образом оно может быть нарушено?
8. Поясните понятия: внутренняя релаксация, локальное равновесие, открытая система, текущее равновесие.
9. Какое явление называется самоорганизацией? Как оно описывается? Что означает термин "синергетика"?
10. Каким образом происходит переход от порядка к хаосу?
11. Что такое информация, какова ее функция и природа?
12. Количественные характеристики информации. Каким свойством, отличающим ее от других физических величин, обладает информация?
13. Что происходит с информацией с течением времени?
14. На чем основана работа "демона Максвелла"?
15. Опишите процесс формирования и передачи нервного импульса.

## Контрольные задания к приведенным главам

### 1-й вариант

1. Пространство, его свойства и жизнь во Вселенной.
2. Что является источником центростремительной силы для планет? Какие зависимости периодов обращения и расстояний от центра следуют из законов всемирного тяготения?
3. Рассчитайте высоту стационарного спутника.
4. На чем основано измерение температуры? Какие шкалы вам известны и как они соотносятся?
5. Виды химических связей и их объяснение с точки зрения строения атомов.

7. Эффект Доплера и его применение. Какую роль этот эффект сыграл в развитии науки?
8. Как была открыта реакция расщепления урана и каково значение этого открытия для судеб человечества?
9. Дайте понятие картины мира и приведите примеры из истории наук.

### **2-й вариант**

1. Как определить размеры Земли, расстояния до Луны, Солнца, звезд и галактики?
2. Законы сохранения импульса и момента импульса в микро-, макро- и мегамире.
3. Поясните понятие температуры и теплоты.
4. Поясните гипотезу “тепловой смерти” Вселенной.
5. Поясните роль воды в существовании жизни на Земле.
6. Какие методы использовались для изучения строения ядра? Какие силы удерживают частицы в ядре?
7. Как вы понимаете корпускулярно-волновой дуализм?
8. Каковы модели развития Вселенной вам известны?

### **3-й вариант**

1. Как определить возраст археологической находки Земли, Вселенной?
2. В каких видах спорта и каким образом используется закон сохранения импульса?
3. Что общего между различными процессами преобразования тепловой энергии в механическую? Идеальный цикл Карно и реальные машины.
4. Каким устройствам соответствует прямой и каким обратный цикл? Приведите примеры.
5. Явления при низких температурах. Почему возникают явления сверхпроводимости и сверхтекучести? Каковы перспективы использования этих явлений?
6. Поясните особенности растворения в воде различных веществ. Какую роль они играют в жизненно важных процессах? Как объяснить явления смачивания и капиллярности?
7. Как была открыта ядерная модель атома? Чем вызван отказ от модели атома Резерфорда?
8. Уравнение Шредингера и его значение для развития квантовой механики. Физический смысл волновой функции.
9. Как было открыто явление однородного расширения Вселенной? Какие факты указывают на то, что Вселенная имела “горячее начало”?

#### 4-й вариант

1. Время и его измерение. С какими движениями связан календарь и что лежит в основе временных единиц – недели, года, месяца?
2. Проанализируйте законы сохранения при взаимодействии шаров с разными и равными массами, скоростями.
3. Как определяются параметры года через микро- и макровеличины? Есть ли между ними связь, если есть, то какая?
4. Покажите, как из 1 и 2 начала термодинамики следует невозможность получения полезной работы от вечных двигателей первого и второго рода.
5. Какие химические элементы являются самыми главными для жизни? За счет каких процессов осуществляется поступление в атмосферу кислорода?
6. Какие элементарные частицы вам известны? Какова их роль и насколько они элементарны?
7. Дисперсия света и спектральный анализ. Их значение для науки.
8. Дайте понятие солнечной активности, оцените, как влияет периодичность ее изменения на нашу планету.

#### 5-й вариант

1. Поясните понятия инертной и гравитационной массы.
2. Поясните понятия фазовые переходы 1 и 2 рода, что лежит в основе классификации.
3. В чем уникальность строения атома углерода и почему он так распространен в соединениях?
4. Формы преобразования энергии и круговорот веществ в природе. Чем они отличаются и что между ними общего?
5. Какие виды взаимодействий вы знаете и какие из них играют важную роль в повседневной жизни?
6. В чем сущность соотношений Гейзенберга?
7. Как происходит образование элементов во Вселенной по модели «большого взрыва»?
8. Использование законов сохранения импульса и момента импульса в современной цивилизации.

#### 6-й вариант

1. Перечислите и поясните основные свойства пространства. В чем проявляется однородность и изотропность пространства?
2. Какие виды взаимодействий существуют в природе, чем они характеризуются?
3. В чем сущность закона тяготения Ньютона и почему он назван “всемирным”?

4. Какое состояние системы называется устойчивым, чем оно характеризуется?
5. Поясните понятия обратимого и необратимого процесса. Какие процессы называются квазистатическими? Приведите примеры.
6. Что представляет атом по современным представлениям? Каким образом описывается состояние электронов в атоме?
7. Поясните концепции дальнего действия и ближнего действия. Какие два вида материи противопоставляются друг другу в классической физике?
8. В ходе каких процессов звезда начинает свое существование? Каким образом время жизни звезды связано с ее массой?

### **7-й вариант**

1. Как будет развиваться Солнечная система в ближайшие пять миллиардов лет? Какова будущая судьба “земной жизни”?
2. Чему соответствует состояние равновесия и каким образом оно может быть нарушено?
3. Что такое информация, какова ее функция и на чем основывается понимание ее природы?
4. Что происходит с солнечной энергией, падающей на землю?
5. В чем значение и содержание перехода от геоцентрической к гелиоцентрической системе мира? Какие научные данные способствовали этому?
6. Что означает “эвклидовость” пространства? При каких условиях происходит “искривление” пространства?
7. Как определяются первая и вторая космические скорости?
8. Чем объясняется факт, что массивные небесные тела имеют шарообразную форму?

### **8-й вариант**

1. Что такое теплопередача? Каким образом она происходит?
2. С помощью каких методов измеряются расстояния в микро-, макро- и мегамире?
3. Каким образом закон сохранения импульса отражается на движении планет Солнечной системы?
4. Что представляет собой вещество в газообразном состоянии?
5. Как соотносятся между собой давление, объем и температура идеального газа?
6. По каким законам происходит распространение электромагнитных волн в среде с резкими неоднородностями? Приведите примеры.
7. Какие классы элементарных частиц вам известны? Что лежит в основе их классификации?
8. Что представляет собой процесс фотосинтеза?

### 9-й вариант

1. Что представляет собой самоорганизующаяся система?
2. Какие различают этапы для самоорганизующихся систем?
3. Как влияют фундаментальные взаимодействия на разных уровнях организации материи?
4. Какова природа реликтового излучения?
5. Как происходило образование ядер элементов, расположенных после железа в таблице Менделеева?
6. Назовите разновидности материи. Какова между ними связь?
7. Какова структура Солнечной системы?
8. Какова природа земного магнетизма?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Воронцов-Вельяминов Б.О. Очерки о Вселенной. – М.: Наука, 1980.
- Вяльцев А.Н. Дискретное пространство – время. – М.: Наука, 1965. – 400 с.
- Горелов А.А. Концепции современного естествознания. – М., 1997.
- Грушевицкая Т.Г., Садохин А.П. Концепции современного естествознания. – М.: Высш. шк., 1998. – 383 с.
- Дубнищева Т.Я., Пигарев А.Ю. Современное естествознание: Учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во ЮКЭА, 1998. – 160 с.
- Карпенков С.Х. Концепции современного естествознания. Практикум: Учеб. пособие для вузов. – М.: Культура и спорт, 1998. – 239 с.
- Климонтович Н.Ю. Без формул о синергетике. – Минск: Высш. шк., 1986. – 223 с.
- Мигдал А.Б. Как рождаются физические теории. – М.: Педагогика, 1984.
- Пенроуз Р. Структура пространства-времени. – М.: Мир, 1972.
- Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980. – 404 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	5
ГЛАВА 1	
Концепция атомистического строения вещества.....	7
ГЛАВА 2	
Концепция элементарных частиц и "большого взрыва" .....	16
ГЛАВА 3	
Концепция пространства и времени .....	24
ГЛАВА 4	
Законы сохранения в природе .....	32
ГЛАВА 5	
Полевая форма материи .....	36
ГЛАВА 6	
Корпускулярно-волновые свойства света .....	47
ГЛАВА 7	
Теория порядка и хаоса. Энтропия и информация .....	57
Список литературы .....	67

Учебное издание

**Родкина Людмила Романовна  
Шмакова Елена Эдуардовна**

**ПРАКТИКУМ ПО КОНЦЕПЦИЯМ  
СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ**

Часть 1. Точное естествознание

Редактор С.Г. Масленникова  
Корректор Л.З. Анипко  
Компьютерная верстка Ю.Э. Сафоновой

Лицензия на издательскую деятельность ИД № 03816 от 22.01.2001

02073

Подписано в печать 25.04.2002. Формат 60×84/16.  
Бумага типографская. Печать офсетная. Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 4,0.  
Тираж 150 экз. Заказ

---

Издательство Владивостокского государственного университета  
экономики и сервиса

690600, Владивосток, ул. Гоголя, 41

Отпечатано в лаборатории множительной техники ВГУЭС  
690600, Владивосток, ул. Державина, 57