

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

*Б1.Б.08 Физика*

**Направление подготовки 21.03.02 «Землеустройство и кадастры»**

**Профиль подготовки Землеустройство**

**Форма обучения** заочная

## СОДЕРЖАНИЕ

### 1. Конспект лекций

**1.1 Лекция № 1** *Введение. Кинематика. Динамика*

**1.2 Лекция № 2** *Законы сохранения*

**1.3 Лекция № 3** *Молекулярная физика. Термодинамика*

**1.4 Лекция № 4** *Электростатика*

**1.5 Лекция № 5** *Постоянный электрический ток*

**1.6 Лекция № 6** *Гармонические колебания*

**1.7 Лекция № 7** *Квантовые свойства электромагнитного излучения*

**1.8 Лекция № 8** *Элементы квантовой микрофизики*

### 2. Методические указания по выполнению лабораторных работ

**2.1 Лабораторная работа № ЛР-1** *Определение плотности тел правильной геометрической формы*

**2.2 Лабораторная работа № ЛР-2** *Определение момента инерции диска*

**2.3 Лабораторная работа № ЛР-3** *Определение влажности воздуха психрометром*

**2.4 Лабораторная работа № ЛР-4** *Определение емкости конденсатора баллистическим гальванометром*

**2.5 Лабораторная работа № ЛР-5** *Последовательное и параллельное соединение проводников*

**2.6 Лабораторная работа № ЛР-6** *Изучение законов свободных колебаний упругодеформированного тела (пружинного маятника)*

**2.7 Лабораторная работа № ЛР-7** *Фотоэффект*

**2.8 Лабораторная работа № ЛР-8** *Ядра атомов*

# 1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

## 1.1 Лекция № 1 (2 часа)

Тема: «Введение. Кинематика.Динамика»

### 1.1.1 Вопросы лекции:

1. Физика в системе естественных наук.
2. Общая структура и задачи дисциплины «Физика».
3. Экспериментальная и теоретическая физика.
4. Системы единиц физических величин.
5. Основные кинематические характеристики криволинейного движения: скорость и ускорение.
6. Связь линейных величин с угловыми.
7. Первый закон Ньютона.
8. Второй закон Ньютона.
9. Третий закон Ньютона.
10. Уравнение вращения твердого тела вокруг закрепленной оси.

### 1.1.2 Краткое содержание вопросов

1. Физика в системе естественных наук.

Физика – наука о простейших и вместе с тем наиболее общих законах природы, о материи, её структуре и движении

Условно все науки, согласно их предмету изучения, можно разделить на *три* больших системы:

- общественные науки (социология, история, обществознание);
- технические науки (агрономия, механика, строительство, архитектура);
- естественные науки (биология, химия, физика)

Естественные науки – это система наук, которые изучают влияние внешних природных явлений на жизнедеятельность человека. Основой естественных наук является соотношение законов природы с законами, которые вывел человек в ходе своей деятельности.

2. Общая структура и задачи дисциплины «Физика».

Дисциплина «физика» состоит из следующих модулей:

1. Механика.
2. Молекулярная физика и термодинамика.
3. Электричество и магнетизм.
4. Колебания и волны, оптика.
5. Квантовая физика.
6. Ядерная физика.
7. Физическая картина мира.

В результате освоения дисциплины «Физика» студент должен изучить физические явления и законы физики, границы их применимости, применение законов в важнейших практических приложениях; познакомиться с основными физическими величинами, знать их определение, смысл, способы и единицы их измерения; представлять себе фундаментальные физические опыты и их роль в развитии науки; знать назначение и принципы действия важнейших физических приборов.

3. Экспериментальная и теоретическая физика.

В основе своей физика — экспериментальная наука: все её законы и теории основываются и опираются на опытные данные. Однако зачастую именно новые теории являются причиной проведения экспериментов и, как результат, лежат в основе новых открытий. Поэтому принято различать экспериментальную и теоретическую физику.

Экспериментальная физика исследует явления природы в заранее подготовленных условиях. В её задачи входит обнаружение ранее неизвестных явлений, подтверждение или опровержение физических теорий. Многие достижения в физике были сделаны благодаря экспериментальному обнаружению явлений, не описываемых существующими теориями.

В задачи теоретической физики входит формулирование общих законов природы и объяснение на основе этих законов различных явлений, а также предсказание до сих пор неизвестных явлений. Верность любой физической теории проверяется экспериментально: если результаты эксперимента совпадают с предсказаниями теории, она считается адекватной (достаточно точно описывающей данное явление).

При изучении любого явления экспериментальные и теоретические аспекты одинаково важны.

4. Системы единиц физических величин

Понятие о физической величине - одно из наиболее общих в физике и метрологии. Под физической величиной понимается свойство, общее в качественном отношении для многих физических объектов (физических систем, их состояний и происходящих в них процессов), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта. Так, все тела обладают массой и температурой, но для каждого из них эти параметры различны. То же самое можно сказать и о других величинах - электрическом токе, вязкости жидкостей или потоке излучения.

Для того чтобы можно было установить различия в количественном содержании свойств в каждом объекте, отображаемых физической величиной, вводится понятие размера физической величины.

В 1832 г. немецкий математик К. Гаусс предложил методику построения системы единиц как совокупности основных и производных. Он построил систему единиц, в которой за основу были приняты три произвольные, независимые друг от друга единицы - длины, массы и времени. Все остальные единицы можно было определить с помощью этих трех. Такую систему единиц, связанных определенным образом с тремя основными, Гаусс назвал абсолютной системой. За основные единицы он принял миллиметр, миллиграмм и секунду.

В дальнейшем с развитием науки и техники появился ряд систем единиц физических величин, построенных по принципу, предложенному Гауссом, базирующихся на метрической системе мер, но отличающихся друг от друга основными единицами.

#### 5. Основные кинематические характеристики криволинейного движения: скорость и ускорение.

Скорость — векторная физическая величина, характеризующая быстроту перемещения и направление движения материальной точки относительно выбранной системы отсчёта; по определению, равна производной радиус-вектора точки по времени. Этим же словом называют и скалярную величину — либо модуль вектора скорости, либо алгебраическую скорость точки, т. е. проекцию этого вектора на касательную к траектории точки.

Термин «скорость» используют в науке и в широком смысле, понимая под ним быстроту изменения какой-либо величины (не обязательно радиус-вектора) в зависимости от другой (чаще подразумеваются изменения во времени, но также в пространстве или любой другой). Так, например, говорят об угловой скорости, скорости изменения температуры, скорости химической реакции, групповой скорости, скорости соединения и т. д. Математически «быстрота изменения» характеризуется производной рассматриваемой величины.

Ускорение — физическая величина, определяющая быстроту изменения скорости тела, то есть первая производная от скорости по времени. Ускорение является векторной величиной, показывающей, на сколько изменяется вектор скорости тела при его движении за единицу времени.

#### 6. Связь линейных величин с угловыми.

### Равномерное движение

$$v = \frac{s}{t}; \quad s = vt$$

$$\omega = \frac{\phi}{t}; \quad \phi = \omega t$$

### Неравномерное движение

$$v = \frac{ds}{dt} = s'(t)$$

$$\omega = \frac{d\phi}{dt} = \phi'(t)$$

$$a = \frac{dv}{dt} = v'(t) = s'(t)$$

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \omega'(t) = \phi'(t)$$

#### 7. Первый закон Ньютона.

Законы Ньютона — три закона, лежащие в основе классической механики и позволяющие записать уравнения движения для любой механической системы, если известны силовые взаимодействия для составляющих её тел. Впервые в полной мере сформулированы Исааком Ньютоном в книге «Математические начала натуральной философии» (1687 год).

Первый закон Ньютона постулирует существование инерциальных систем отсчета. Поэтому он также известен как закон инерции. Инерция — это свойство тела сохранять скорость своего движения неизменной (и по величине, и по направлению), когда на тело не действуют никакие силы. Чтобы изменить скорость движения тела, на него необходимо действовать с некоторой силой. Естественно, результат действия одинаковых по величине сил на различные тела будет различным. Таким образом, говорят, что тела обладают разной инертностью. Инертность — это свойство тел сопротивляться изменению их скорости. Величина инертности характеризуется массой тела.

Существуют такие системы отсчёта, называемые инерциальными, относительно которых материальные точки, когда на них не действуют никакие силы (или действуют силы взаимно уравновешенные), находятся в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения.

#### 8. Второй закон Ньютона.

Второй закон Ньютона — дифференциальный закон движения, описывающий взаимосвязь между приложенной к материальной точке силой и получающимся от этого ускорением этой точки. Фактически,

второй закон Ньютона вводит массу как меру проявления инертности материальной точки в выбранной инерциальной системе отсчёта (ИСО).

В инерциальной системе отсчёта ускорение, которое получает материальная точка с постоянной массой, прямо пропорционально равнодействующей всех приложенных к ней сил и обратно пропорционально её массе

9. Третий закон Ньютона.

Этот закон описывает, как взаимодействуют две материальные точки.

Материальные точки взаимодействуют друг с другом силами, имеющими одинаковую природу, направленными вдоль прямой, соединяющей эти точки, равными по модулю и противоположными по направлению.

Закон утверждает, что силы возникают лишь попарно, причём любая сила, действующая на тело, имеет источник происхождения в виде другого тела. Иначе говоря, сила всегда есть результат взаимодействия тел.

10. Уравнение вращения твердого тела вокруг закрепленной оси.

Угловое ускорение твердого тела, вращающегося вокруг оси  $z$ , прямо пропорционально моменту силы относительно оси  $z$  и обратно пропорционально моменту инерции тела относительно той же оси.

$$\vec{\epsilon} = \frac{\vec{M}}{J}$$

Если действуют несколько моментов, то  $\vec{M} = \vec{M}_1 + \vec{M}_2 + \dots + \vec{M}_n$

Основное уравнение динамики вращательного движения является аналогом второго закона Ньютона для поступательного движения.

## 1.2 Лекция № 2 (2 часа)

Тема: «Законы сохранения»

### 1.2.1 Вопросы лекции:

1. Импульс.
2. Закон сохранения импульса
3. Момент импульса.
4. Закон сохранения момента импульса.
5. Работа.
6. Энергия.
7. Закон сохранения энергии.

### 1.2.2 Краткое содержание вопросов

#### 1. Импульс

Импульс — векторная физическая величина, являющаяся мерой механического движения тела. В классической механике импульс тела равен произведению массы этого тела на его скорость, направление импульса совпадает с направлением вектора скорости

#### 2. Закон сохранения импульса

Закон сохранения импульса утверждает, что векторная сумма импульсов всех тел системы есть величина постоянная, если векторная сумма внешних сил, действующих на систему тел, равна нулю

#### 3. Момент импульса

Момент импульса материальной точки относительно некоторого начала отсчёта определяется векторным произведением её радиус-вектора и импульса

#### 4. Закон сохранения момента импульса

Векторная сумма всех моментов импульса относительно любой неподвижной точки (или сумма моментов относительно любой неподвижной оси) для замкнутой системы остается постоянной со временем

#### 5. Работа

При прямолинейном движении одной материальной точки и постоянном значении приложенной к ней силы работа (этой силы) равна произведению величины проекции вектора силы на направление движения и величины совершённого перемещения

#### 6. Энергия

Энергия — скалярная физическая величина, являющаяся единой мерой различных форм движения и взаимодействия материи, мерой перехода движения материи из одних форм в другие

#### 7. Закон сохранения энергии

Введение понятия энергии удобно тем, что в случае, если физическая система является замкнутой, то её энергия сохраняется в этой системе на протяжении времени, в течение которого система будет являться замкнутой. Это утверждение носит название закона сохранения энергии

### 1.3 Лекция 3 (Л-3) (2 часа)

Тема: « Молекулярная физика. Термодинамика»

#### 1.3.1 Вопросы лекции:

1. Молекулярно-кинетическая теория (МКТ).
2. Распределение Максвелла молекул идеального газа.
3. Распределение Больцмана.
4. Термодинамическое равновесие и температура. Нулевое начало термодинамики.
5. Первое начало термодинамики.
6. Второе начало термодинамики. Энтропия.
7. Термодинамические процессы
8. Термодинамические циклы.
9. Цикл Карно.

#### 1.3.2 Краткое содержание вопросов

##### 1. Молекулярно-кинетическая теория (МКТ).

Молекулярно-кинетическая теория (сокращённо МКТ) — теория, возникшая в XIX веке и рассматривающая строение вещества, в основном газов, с точки зрения трёх основных приближенно верных положений:

- все тела состоят из частиц: атомов и молекул;
- частицы находятся в непрерывном хаотичном движении (тепловом);
- частицы взаимодействуют друг с другом путём абсолютно упругих столкновений.

##### 2. Распределение Максвелла молекул идеального газа.

Распределение Максвелла — распределение вероятности, встречающееся в физике и химии. Оно лежит в основании кинетической теории газов, которая объясняет многие фундаментальные свойства газов, включая давление и диффузию. Распределение Максвелла также применимо для электронных процессов переноса и других явлений. Распределение Максвелла применимо к множеству свойств индивидуальных молекул в газе. О нём обычно думают как о распределении энергий молекул в газе, но оно может также применяться к распределению скоростей, импульсов, и модуля импульсов молекул. Также оно может быть выражено как дискретное распределение по множеству дискретных уровней энергии, или как непрерывное распределение по некоторому континууму энергии.

Распределение Максвелла может и должно быть получено при помощи статистической механики. Как распределение энергии, оно соответствует самому вероятному распределению энергии, в системе, состоящей из большого количества невзаимодействующих частиц, в которой квантовые эффекты являются незначительными. Так как взаимодействие между молекулами в газе является обычно весьма небольшим, распределение Максвелла даёт довольно хорошее приближение ситуации, существующей в газе.

##### 3. Распределение Больцмана.

Распределение Больцмана — распределение вероятностей различных энергетических состояний идеальной термодинамической системы (идеальный газ атомов или молекул) в условиях термодинамического равновесия; открыто Л. Больцманом в 1868—1871.

##### 4. Термодинамическое равновесие и температура. Нулевое начало термодинамики.

Термодинамическое равновесие — состояние системы, при котором остаются неизменными по времени макроскопические величины этой системы (температура, давление, объём, энтропия) в условиях изолированности от окружающей среды. В общем, эти величины не являются постоянными, они лишь флюктуируют (колеблются) возле своих средних значений. Если равновесной системе соответствует несколько состояний, в каждом из которых система может находиться неопределенно долго, то о системе говорят, что она находится в метастабильном равновесии. В состоянии равновесия в системе отсутствуют потоки материи или энергии, неравновесные потенциалы (или движущие силы), изменения количества присутствующих фаз. Отличают тепловое, механическое, радиационное (лучистое) и химическое равновесия. На практике условие изолированности означает, что процессы установления равновесия протекают гораздо быстрее, чем происходят изменения на границах системы (то есть изменения внешних по отношению к системе условий), и осуществляется обмен системы с окружением веществом и энергией. Иными словами, термодинамическое равновесие достигается, если скорость релаксационных процессов достаточно велика (как правило, это характерно для высокотемпературных процессов) либо велико время для достижения равновесия (этот случай имеет место в геологических процессах).

В реальных процессах часто реализуется неполное равновесие, однако степень этой неполноты может быть существенной и несущественной. При этом возможны три варианта:

- равновесие достигается в какой-либо части (или частях) относительно большой по размерам системы — локальное равновесие,

- неполное равновесие достигается вследствие разности скоростей релаксационных процессов, протекающих в системе — частичное равновесие,

- имеют место как локальное, так и частичное равновесие.

В неравновесных системах происходят изменения потоков материи или энергии, или, например, фаз.

## 5. Первое начало термодинамики.

Первое начало термодинамики — один из трёх основных законов термодинамики, представляет собой закон сохранения энергии для термодинамических систем.

Первое начало термодинамики было сформулировано в середине XIX века в результате работ немецкого учёного Ю. Р. Майера, английского физика Дж. П. Джоуля и немецкого физика Г. Гельмгольца. Согласно первому началу термодинамики, термодинамическая система может совершать работу только за счёт своей внутренней энергии или каких-либо внешних источников энергии. Первое начало термодинамики часто формулируют как невозможность существования вечного двигателя первого рода, который совершал бы работу, не черпая энергию из какого-либо источника.

## 6. Второе начало термодинамики. Энтропия.

Второе начало термодинамики — физический принцип, накладывающий ограничение на направление процессов, которые могут происходить в термодинамических системах.

Второе начало термодинамики запрещает так называемые вечные двигатели второго рода, показывая, что коэффициент полезного действия не может равняться единице, поскольку для кругового процесса температура холодильника не может равняться абсолютному нулю (невозможно построить замкнутый цикл, проходящий через точку с нулевой температурой).

Второе начало термодинамики является постулатом, не доказываемым в рамках классической термодинамики. Оно было создано на основе обобщения опытных фактов и получило многочисленные экспериментальные подтверждения.

Существуют несколько эквивалентных формулировок второго закона термодинамики:

- постулат Клаузиуса: «Невозможен круговой процесс, единственным результатом которого является передача теплоты от менее нагретого тела к более нагретому»;

- постулат Томсона: «Невозможен круговой процесс, единственным результатом которого было бы производство работы за счёт охлаждения теплового резервуара».

Энтропия — широко используемый в естественных и точных науках термин. Впервые введён в рамках термодинамики как функция состояния термодинамической системы, определяющая меру необратимого рассеивания энергии. В статистической физике энтропия является мерой вероятности осуществления какого-либо макроскопического состояния. Кроме физики, термин широко употребляется в математике: теории информации и математической статистике. Энтропия может интерпретироваться как мера неопределенности (неупорядоченности) некоторой системы (например, какого-либо опыта (испытания), который может иметь разные исходы, а значит, и количество информации). В широком смысле, в каком слово часто употребляется в быту, энтропия означает меру неупорядоченности системы; чем меньше элементы системы подчинены какому-либо порядку, тем выше энтропия.

## 7. Термодинамические процессы.

Квазистатический процесс в термодинамике — идеализированный процесс, состоящий из непрерывно следующих друг за другом состояний равновесия. Такие процессы называют также квазиравновесными, так как систему в каждый момент времени можно считать находящейся в состоянии термодинамического равновесия.

Равновесная термодинамика описывает системы, находящиеся в состоянии термодинамического равновесия. Любое изменение состояния системы выводит её из состояния равновесия, и в системе начинаются неравновесные переходные и релаксационные процессы, которые в общем случае очень сложны для описания. Однако многие процессы в технике с достаточной для практических целей точностью могут описываться как квазиравновесные.

Модель квазистатических процессов значительно упрощает анализ термодинамических систем. При описании текущего состояния системы, в которой происходит квазистатический процесс, требуется столько же параметров, сколько и для макроскопического описания равновесного состояния. Квазистатические процессы не реализуются в природе, но являются хорошей моделью для процессов, протекающих достаточно медленно по сравнению с процессами установления термодинамического равновесия в системе.

## 8. Термодинамические циклы.

Термодинамические циклы — круговые процессы в термодинамике, то есть такие процессы, в которых совпадают начальные и конечные параметры, определяющие состояние рабочего тела (давление, объём, температура и энтропия).

Термодинамические циклы являются моделями процессов, происходящих в реальных тепловых машинах для превращения тепла в механическую работу.

Компонентами любой тепловой машины являются рабочее тело, нагреватель и холодильник (с помощью которых меняется состояние рабочего тела).

Обратимым называют цикл, который можно провести как в прямом, так и в обратном направлении в замкнутой системе. Суммарная энтропия системы при прохождении такого цикла не меняется.

## 10. Цикл Карно.

В термодинамике цикл Карно — это обратимый круговой процесс, состоящий из двух адиабатических и двух изотермических процессов. В цикле Карно термодинамическая система выполняет механическую работу и обменивается теплотой с двумя тепловыми резервуарами, имеющими постоянные,

но различающиеся температуры. Резервуар с более высокой температурой называется нагревателем, а с более низкой температурой — холодильником.

Цикл Карно назван в честь французского учёного и инженера Сади Карно, который впервые его описал в своём сочинении «О движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу» в 1824 году.

Поскольку обратимые процессы могут осуществляться лишь с бесконечно малой скоростью, мощность тепловой машины в цикле Карно равна нулю. Мощность реальных тепловых машин не может быть равна нулю, поэтому реальные процессы могут приближаться к идеальному обратимому процессу Карно только с большей или меньшей степенью точности. В цикле Карно тепловая машина преобразует теплоту в работу с максимально возможным коэффициентом полезного действия из всех тепловых машин, у которых максимальная и минимальная температуры в рабочем цикле совпадают соответственно с температурами нагревателя и холодильника в цикле Карно.

#### 1.4 Лекция 4 (Л-4) (2 часа)

Тема: «Электростатика»

##### 1.4.1 Вопросы лекции:

1. Электрический заряд, его свойства.
2. Закон Кулона.
3. Напряженность и потенциал электростатического поля.
4. Теорема Гаусса в интегральной форме и ее применение для расчета электрических полей.

##### 1.4.2 Краткое содержание вопросов

1. Электрический заряд, его свойства.

Электрический заряд (количество электричества) — это физическая скалярная величина, определяющая способность тел быть источником электромагнитных полей и принимать участие в электромагнитном взаимодействии. Впервые электрический заряд был введен в законе Кулона в 1785 году.

Единица измерения заряда в Международной системе единиц (СИ) — кулон — электрический заряд, проходящий через поперечное сечение проводника при силе тока 1 А за время 1 с

##### Фундаментальные свойства зарядов

1. Электрический заряд может быть двух типов: положительный и отрицательный. Тела, имеющие электрические заряды одного знака, отталкиваются друг от друга, тела с зарядами противоположных знаков — притягиваются.

2. Носителями электрического заряда являются зарженные элементарные частицы с элементарным зарядом  $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$  Кл

- протон — носитель положительного заряда;
- электрон — носитель отрицательного заряда.

Заряд любого другого тела составляет целое кратное от элементарного электрического заряда.

3. Фундаментальный закон сохранения электрического: в любой электрически изолированной системе алгебраическая сумма зарядов не изменяется.

4. Электрический заряд является релятивистски инвариантным: его величина не зависит от системы отсчета, а значит, не зависит от того, движется он или покойится.

2. Закон Кулона.

Закон Кулона — это закон, описывающий силы взаимодействия между неподвижными точечными электрическими зарядами.

Сила взаимодействия двух точечных зарядов в вакууме направлена вдоль прямой, соединяющей эти заряды, пропорциональна их величинам и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Она является силой притяжения, если знаки зарядов разные, и силой отталкивания, если эти знаки одинаковы.

3. Напряженность и потенциал электростатического поля.

Напряженность электрического поля — векторная физическая величина, характеризующая электрическое поле в данной точке и численно равная отношению силы, действующей на неподвижный точечный заряд, помещённый в данную точку поля, к величине этого заряда.

Электростатический потенциал — скалярная энергетическая характеристика электростатического поля, характеризующая потенциальную энергию, которой обладает единичный положительный пробный заряд, помещённый в данную точку поля. Единицей измерения потенциала в Международной системе единиц (СИ) является вольт.

4. Теорема Гаусса в интегральной форме и ее применение для расчета электрических полей.

Теорема Гаусса — один из основных законов электродинамики, входит в систему уравнений Максвелла. Выражает связь (а именно равенство с точностью до постоянного коэффициента) между потоком напряженности электрического поля сквозь замкнутую поверхность и зарядом в объеме, ограниченном этой поверхностью. Применяется отдельно для вычисления электростатических полей.

Аналогичная теорема, также входящая в число уравнений Максвелла, существует и для магнитного поля.

Также теорема Гаусса верна для любых полей, для которых верен закон Кулона или его аналог (например, для ньютонаской гравитации). При этом она является, как принято считать, более

фундаментальной, так как позволяет в частности вывести степень расстояния в законе Кулона «из первых принципов», а не постулировать ее (или не находить эмпирически).

В этом можно видеть фундаментальное значение теоремы Гаусса в теоретической физике.

Существуют аналоги (обобщения) теоремы Гаусса и для более сложных полевых теорий, чем электродинамика.

## 1.5 Лекция 5 (Л-5) (2 часа)

**Тема:** «Постоянный электрический ток»

### 1.5.1 Вопросы лекции:

1. Сила и плотность тока.
2. Уравнение непрерывности для плотности тока.
3. Закон Ома в интегральной и дифференциальной формах.
4. Закон Джоуля-Ленца.
5. Закон Видемана-Франца.
6. Электродвижущая сила источника тока.
7. Правила Кирхгофа.

### 1.5.2 Краткое содержание вопросов

1. Сила и плотность тока.

Сила тока — физическая величина, равная отношению количества заряда, прошедшего через некоторую поверхность за время, к величине этого промежутка времени.

Плотность тока — векторная физическая величина, имеющая смысл силы тока, протекающего через элемент поверхности единичной площади.

2. Уравнение непрерывности для плотности тока.

Уравнение непрерывности гласит, что если заряд уходит из дифференциального объёма (то есть дивергенция плотности тока положительна), тогда количество заряда внутри объёма уменьшается. В этом случае приращение плотности заряда отрицательно.

3. Закон Ома в интегральной и дифференциальной формах.

Закон Ома — эмпирический физический закон, определяющий связь электродвижущей силы источника или электрического напряжения с силой тока и сопротивлением проводника, установлен в 1826 году, и назван в честь его первооткрывателя Георга Ома.

4. Закон Джоуля-Ленца.

Закон Джоуля — Ленца — физический закон, дающий количественную оценку теплового действия электрического тока. Установлен в 1841 году Джеймсом Джоулем и независимо от него в 1842 году Эмилием Ленцем.

5. Закон Видемана-Франца.

Закон Видемана — Франца — это физический закон, утверждающий, что для металлов отношение коэффициента теплопроводности к удельной электрической проводимости пропорционально температуре.

6. Электродвижущая сила источника тока.

Электродвижущая сила (ЭДС) — скалярная физическая величина, характеризующая работу сторонних сил, то есть любых сил неэлектрического происхождения, действующих в квазистационарных цепях постоянного или переменного тока. В замкнутом проводящем контуре ЭДС равна работе этих сил по перемещению единичного положительного заряда вдоль всего контура.

7. Правила Кирхгофа.

Правила Кирхгофа — соотношения, которые выполняются между токами и напряжениями на участках любой электрической цепи. Правила Кирхгофа позволяют рассчитывать любые электрические цепи постоянного, переменного и квазистационарного тока. Имеют особое значение в электротехнике из-за своей универсальности, так как пригодны для решения многих задач в теории электрических цепей и практических расчётов сложных электрических цепей. Применение правил Кирхгофа к линейной электрической цепи позволяет получить систему линейных уравнений относительно токов или напряжений, и соответственно, найти значение токов на всех ветвях цепи и все межузловые напряжения. Сформулированы Густавом Кирхгофом в 1845 году. Название «Правила» корректнее потому, что эти правила не являются фундаментальными законами природы, а вытекают из фундаментальных законов сохранения заряда и безвихревости электростатического поля (третье уравнение Максвелла при неизменном магнитном поле).

Для формулировки правил Кирхгофа вводятся понятия узел, ветвь и контур электрической цепи. Ветвью называют любой двухполюсник, входящий в цепь. Узлом называют точку соединения трех и более ветвей. Контур — замкнутый цикл из ветвей. Термин замкнутый контур означает, что, начав с некоторого узла цепи и однократно пройдя по нескольким ветвям и узлам, можно вернуться в исходный узел. Ветви и узлы, проходимые при таком обходе, принято называть принадлежащими данному контуру. При этом нужно иметь в виду, что ветвь и узел могут принадлежать одновременно нескольким контурам.

В терминах данных определений правила Кирхгофа формулируются следующим образом.

Первое правило Кирхгофа гласит, что алгебраическая сумма токов в каждом узле любой цепи равна нулю. При этом направленный к узлу ток принято считать положительным, а направленный от узла — отрицательным. Иными словами, сколько тока втекает в узел, столько из него и вытекает. Это правило следует из фундаментального закона сохранения заряда.

Второе правило Кирхгофа (правило напряжений Кирхгофа) гласит, что алгебраическая сумма падений напряжений на всех ветвях, принадлежащих любому замкнутому контуру цепи, равна алгебраической сумме ЭДС ветвей этого контура. Если в контуре нет источников ЭДС (идеализированных генераторов напряжения), то суммарное падение напряжений равно нулю.

Иными словами, при полном обходе контура потенциал, изменяясь, возвращается к исходному значению. Частным случаем второго правила для цепи, состоящей из одного контура, является закон Ома для этой цепи. При составлении уравнения напряжений для контура нужно выбрать положительное направление обхода контура. При этом падение напряжения на ветви считают положительным, если направление обхода данной ветви совпадает с ранее выбранным направлением тока ветви, и отрицательным — в противном случае.

Правила Кирхгофа справедливы для линейных и нелинейных линеаризованных цепей при любом характере изменения во времени токов и напряжений.

## 1.6 Лекция 6 (Л-6)

**Тема:** «Гармонические колебания»

### 1.6.1 Вопросы лекции:

1. Гармонические колебания.
2. Идеальный гармонический осциллятор.
3. Амплитуда, частота и фаза колебания.
4. Энергия колебаний.
5. Примеры колебательных движений различной физической природы.
6. Свободные затухающие колебания осциллятора с потерями.
7. Вынужденные колебания.
8. Автоколебания.

### 1.6.2 Краткое содержание вопросов

1. Гармонические колебания.

Гармонические колебания — колебания, при которых физическая величина изменяется с течением времени по гармоническому (синусоидальному, косинусоидальному) закону

2. Идеальный гармонический осциллятор.

Гармонический осциллятор — система, которая при смещении из положения равновесия испытывает действие возвращающей силы  $F$ , пропорциональной смещению  $x$ .

Если  $F$  — единственная сила, действующая на систему, то систему называют простым или консервативным гармоническим осциллятором. Свободные колебания такой системы представляют собой периодическое движение около положения равновесия (гармонические колебания). Частота и амплитуда при этом постоянны, причём частота не зависит от амплитуды.

3. Амплитуда, частота и фаза колебания.

Амплитуда — максимальное значение смещения или изменения переменной величины от среднего значения при колебательном или волновом движении. Неотрицательная скалярная величина, размерность которой совпадает с размерностью определяемой физической величины.

Частота — физическая величина, характеристика периодического процесса, равна количеству повторений или возникновения событий (процессов) в единицу времени. Рассчитывается, как отношение количества повторений или возникновения событий (процессов) к промежутку времени, за которое они совершины.

Фаза колебаний — аргумент периодической функции, описывающей колебательный или волновой процесс.

4. Энергия колебаний.

При гармонических колебаниях любых физических систем непрерывно и периодически происходит превращение кинетической энергии в потенциальную и обратно.

Например, при колебаниях физического или математического маятников в крайних положениях потенциальная энергия максимальна, а при прохождении положения равновесия максимальна кинетическая энергия.

5. Примеры колебательных движений различной физической природы.

6. Свободные затухающие колебания осциллятора с потерями.

Затуханием колебаний называется постепенное ослабление колебаний с течением времени, обусловленное потерей энергии колебательной системы. Свободные колебания реальных систем всегда затухают. Затухание свободных механических колебаний вызывается главным образом трением и возбуждением в окружающей среде упругих волн. Закон затухания колебаний зависит от свойств колебательной системы.

7. Вынужденные колебания.

Вынужденные колебания — колебания, происходящие под воздействием внешних периодических сил  
8. Автоколебания.

Автоколебания — незатухающие колебания в диссипативной динамической системе с нелинейной обратной связью, поддерживающиеся за счёт энергии постоянного, то есть непериодического внешнего воздействия.

Автоколебания отличаются от вынужденных колебаний тем, что последние вызваны периодическим внешним воздействием и происходят с частотой этого воздействия, в то время как возникновение автоколебаний и их частота определяются внутренними свойствами самой автоколебательной системы.

## 1.7 Лекция 7 (Л-7) (2 часа)

Тема: «Квантовые свойства электромагнитного излучения»

### 1.7.1 Вопросы лекции:

1. Тепловое излучение и люминесценция.
2. Спектральные характеристики теплового излучения.
3. Законы Кирхгофа, Стефана-Больцмана и закон смещения Вина.
4. Формула Релея-Джинса и «ультрафиолетовая катастрофа».
5. Гипотеза квантов. Формула Планка.
6. Корпускулярно-волновой дуализм света.
7. Модель атома Томсона.
8. Опыты Резерфорда по рассеянию альфа-частиц.
9. Ядерная модель атома.
10. Эмпирические закономерности в атомных спектрах.

### 1.7.2 Краткое содержание вопросов

1. Тепловое излучение и люминесценция.

Тепловое излучение — электромагнитное излучение, возникающее за счёт внутренней энергии тела. Имеет сплошной спектр, расположение и интенсивность максимума которого зависят от температуры тела.

Причиной того, что вещество излучает электромагнитные волны, является устройство атомов и молекул из заряженных частиц, из-за чего вещество пронизано электромагнитными полями. В частности, при столкновениях атомов и молекул происходит их ударное возбуждение с последующим высвечиванием.

Люминесценция — нетепловое свечение вещества, происходящее после поглощения им энергии возбуждения. Впервые люминесценция была описана в XVIII веке.

Первоначально явление люминесценции использовалось при изготовлении светящихся красок и световых составов на основе так называемых фосфоров, для нанесения на шкалы приборов, предназначенных для использования в темноте. Особого внимания в СССР люминесценция не привлекала вплоть до 1948 года, когда советский учёный С. И. Вавилов на сессии Верховного совета предложил начать изготовление экономичных люминесцентных ламп и использовать люминесценцию в анализе химических веществ. В быту явление люминесценции используется чаще всего в люминесцентных лампах «дневного света» и электронно-лучевых трубках кинескопов. На использовании явления люминесценции основано явление усиления света, экспериментально подтверждённое работами В. А. Фабриканта и лежащее в основе научно-технического направления квантовой электроники, конкретно находящее своё применение в усилителях света и генераторах стимулированного излучения (лазерах).

2. Спектральные характеристики теплового излучения.

Поглощающая способность тела —  $a_{\omega, T}$  — функция частоты и температуры, показывающая, какая часть энергии электромагнитного излучения, падающего на тело, поглощается телом в области частот  $d\omega$  вблизи  $\omega$ .

Отражающая способность тела —  $b_{\omega, T}$  — функция частоты и температуры, показывающая, какая часть энергии электромагнитного излучения, падающего на тело, отражается от него в области частот  $d\omega$  вблизи  $\omega$ .

3. Законы Кирхгофа, Стефана-Больцмана и закон смещения Вина.

Закон излучения Кирхгофа — физический закон, установленный немецким физиком Кирхгофом в 1859 году. В современной формулировке закон звучит следующим образом: отношение излучательной способности любого тела к его поглощательной способности одинаково для всех тел при данной температуре для данной частоты и не зависит от их формы и химической природы.

Закон Стефана — Больцмана — интегральный закон излучения абсолютно чёрного тела. Определяет зависимость плотности мощности излучения абсолютно чёрного тела от его температуры. В словесной форме закон может быть сформулирован следующим образом: полная объёмная плотность равновесного излучения и полная испускательная способность абсолютно чёрного тела пропорциональна четвёртой степени его температуры.

Закон смещения Вина устанавливает зависимость длины волны, на которой поток излучения энергии чёрного тела достигает своего максимума, от температуры чёрного тела.

4. Формула Релея-Джинса и «ультрафиолетовая катастрофа».

Закон Рэлея — Джинса — закон излучения для равновесной плотности излучения  $u(\omega, T)$  и для испускательной способности  $f(\omega, T)$  абсолютно чёрного тела, который получили Рэлей и Джинс в рамках классической статистики (теорема о равнораспределении энергии по степеням свободы и представление об электромагнитном поле как о бесконечномерной динамической системе).

Правильно описывал низкочастотную часть спектра, при средних частотах приводил к резкому расхождению с экспериментом, а при высоких — к абсурдному результату, означавшему неудовлетворительность классической физики.

Этот результат, получивший название ультрафиолетовой катастрофы, очевидно, входит в противоречие с экспериментом. Логично предположение, что несогласие с экспериментом вызвано некоторыми закономерностями, которые несовместимы с классической физикой. Эти закономерности были определены

Максом Планком: в 1900 году ему удалось найти вид функции  $u(\omega, T)$ , соответствующий опытным данным, в дальнейшем называемой формулой Планка.

#### 6. Корпускулярно-волновой дуализм света.

Корпускулярно-волновой дуализм (или Квантово-волновой дуализм) — принцип, согласно которому любой физический объект может быть описан как с использованием математического аппарата, основанного на волновых уравнениях, так и с помощью формализма, основанного на представлении об объекте как о частице или как о системе частиц. В частности, волновое уравнение Шрёдингера не накладывает ограничений на массу описываемых им частиц, и следовательно, любой частице, как микро-, так и макро-, может быть поставлена в соответствие волна де Броиля. В этом смысле любой объект может проявлять как волновые, так и корпускулярные (квантовые) свойства.

Идея о корпускулярно-волновом дуализме была использована при разработке квантовой механики для интерпретации явлений, наблюдаемых в микромире, с точки зрения классических концепций. В соответствии с теоремой Эренфеста квантовые аналоги системы канонических уравнений Гамильтона для макрочастиц приводят к обычным уравнениям классической механики. Дальнейшим развитием принципа корпускулярно-волнового дуализма стала концепция квантованных полей в квантовой теории поля.

Как классический пример, свет можно трактовать как поток корпускул (фотонов), которые во многих физических эффектах проявляют свойства электромагнитных волн. Свет демонстрирует свойства волны в явлениях дифракции и интерференции при масштабах, сравнимых с длиной световой волны. Например, даже одиночные фотоны, проходящие через двойную щель, создают на экране интерференционную картину, определяемую уравнениями Максвелла. Характер решаемой задачи диктует выбор используемого подхода: корпускулярного (фотоэффект, эффект Комптона), волнового или термодинамического.

Тем не менее, эксперимент показывает, что фотон не есть короткий импульс электромагнитного излучения, например, он не может быть разделён на несколько пучков оптическими делителями лучей, что наглядно показал эксперимент, проведённый французскими физиками Гранжье, Роже и Аспэ в 1986 году. Корпускулярные свойства света проявляются при фотоэффекте и в эффекте Комптона. Фотон ведет себя и как частица, которая излучается или поглощается целиком объектами, размеры которых много меньше его длины волны (например, атомными ядрами), или вообще могут считаться точечными (например, электрон).

Сейчас концепция корпускулярно-волнового дуализма представляет лишь исторический интерес, так как, во-первых, некорректно сравнивать и/или противопоставлять материальный объект (электромагнитное излучение, например) и способ его описания (корпускулярный или волновой); и, во-вторых, число способов описания материального объекта может быть больше двух (корпускулярный, волновой, термодинамический, ...), так что сам термин «дуализм» становится неверным. На момент своего возникновения концепция корпускулярно-волнового дуализма служила способом интерпретировать поведение квантовых объектов, подбирая аналогии из классической физики. На деле квантовые объекты не являются ни классическими волнами, ни классическими частицами, приобретая свойства первых или вторых лишь в некотором приближении. Методологически более корректной является формулировка квантовой теории через интегралы по траекториям, свободная от использования классических понятий.

#### 7. Модель атома Томсона.

Модель Томсона (иногда называемая «пудинговая модель атома») — модель атома, предложенная в 1904 году Джозефом Джоном Томсоном. После открытия им в 1897 году электрона, Томсон предположил, что отрицательно заряженные «корпускулы» (так Томсон называл электроны, хотя ещё в 1894 году Дж. Дж. Стоуни предложил называть «атомы электричества» электронами) входят в состав атома и предложил модель атома, в котором в облаке положительного заряда, равного размеру атома, содержатся маленькие, отрицательно заряженные «корпускулы», суммарный электрический заряд которых равен заряду положительно заряженного облака, обеспечивая электронейтральность атомов. «Корпускулы» в этой модели распределены внутри положительно заряженного облака с одинаковой по объёму плотностью заряда, подобно изюминкам в тесте пудинга. Отсюда произошёл термин «пудинговая модель атома».

#### 8. Опыты Резерфорда по рассеянию альфа-частиц.

Большие успехи в исследовании строения атомов были достигнуты в опытах английского ученого Эрнеста Резерфорда по рассеянию альфа-частиц при прохождении через тонкие слои вещества. В этих опытах узкий пучок альфа-частиц, испускаемых радиоактивным веществом, направлялся на тонкую

золотую фольгу. За фольгой помещался экран, способный светиться под ударами быстрых частиц. Было обнаружено, что большинство альфа-частиц отклоняется от прямолинейного распространения после прохождения фольги, т. е. рассеивается, а некоторые альфа-частицы вообще отбрасываются назад. Рассеяние альфа-частиц Резерфорд объяснил тем, что положительный заряд не распределен равномерно в шаре радиусом  $10^{-10}$  м, как предполагали ранее, а сосредоточен в центральной части атома — атомном ядре. При прохождении около ядра альфа-частица, имеющая положительный заряд, отталкивается от него, а при попадании в ядро — отбрасывается в противоположном направлении. Так ведут себя частицы, имеющие одинаковый заряд, следовательно, существует центральная положительно заряженная часть атома, в которой сосредоточена значительная масса атома. Расчеты показали, что для объяснения опытов нужно принять радиус атомного ядра равным примерно  $10^{-15}$  м.

#### 9. Ядерная модель атома.

Резерфорд предположил, что атом устроен подобно планетарной системе. Суть модели строения атома по Резерфорду заключается в следующем: в центре атома находится положительно заряженное ядро, в котором сосредоточена вся масса, вокруг ядра по круговым орбитам на больших расстояниях вращаются электроны (как планеты вокруг Солнца). Заряд ядра совпадает с номером химического элемента в таблице Менделеева.

Планетарная модель строения атома по Резерфорду не смогла объяснить ряд известных фактов: электрон, имеющий заряд, должен за счет кулоновских сил притяжения упасть на ядро, а атом — это устойчивая система; при движении по круговой орбите, приближаясь к ядру, электрон в атоме должен излучать электромагнитные волны всевозможных частот, т. е. излучаемый свет должен иметь непрерывный спектр, на практике же получается иное: электроны атомов излучают свет, имеющий линейчатый спектр. Разрешить противоречия планетарной ядерной модели строения атома первым попытался датский физик Нильс Бор.

#### 10. Эмпирические закономерности в атомных спектрах.

Материальные тела являются источниками электромагнитного излучения, имеющего разную природу. Во второй половине XIX в. были проведены многочисленные исследования спектров излучения молекул и атомов. Оказалось, что спектры излучения молекул состоят из широко размытых полос без резких границ. Такие спектры называли полосатыми. Спектр излучения атомов состоит из отдельных спектральных линий или групп близко расположенных линий. Поэтому спектры атомов называли линейчатыми. Для каждого элемента существует вполне определенный излучаемый им линейчатый спектр, вид которого не зависит от способа возбуждения атома.

### 1.8 Лекция 8 (Л-8) (2 часа)

**Тема:** «Элементы квантовой микрофизики»

#### 1.8.1 Вопросы лекции:

1. Состав атомного ядра.
2. Характеристики ядра: заряд, масса, энергия связи нуклонов.
3. Радиоактивность. Виды и законы радиоактивного излучения.
4. Ядерные реакции. Деление ядер. Синтез ядер.

#### 1.8.2 Краткое содержание вопросов

##### 1. Состав атомного ядра.

Атомное ядро — центральная часть атома, в которой сосредоточена основная его масса (более 99,9 %). Ядро заряжено положительно, заряд ядра определяет химический элемент, к которому относят атом. Размеры ядер различных атомов составляют несколько фемтometров, что более чем в 10 тысяч раз меньше размеров самого атома.

Атомное ядро состоит из нуклонов — положительно заряженных протонов и нейтральных нейтронов, которые связаны между собой при помощи сильного взаимодействия. Протон и нейtron обладают собственным моментом количества движения (спином), равным  $\hbar/2 = h/4\pi$  и связанным с ним магнитным моментом. Единственный стабильный атом, не содержащий нейтронов в ядре — лёгкий водород (протий).

Атомное ядро, рассматриваемое как класс частиц с определённым числом протонов и нейтронов, принято называть нуклидом.

В некоторых редких случаях могут образовываться короткоживущие экзотические атомы у которых вместо нуклона ядром служат иные частицы.

Количество протонов в ядре называется его зарядовым числом  $Z$  — это число равно порядковому номеру элемента, к которому относится атом, в таблице Менделеева. Количество протонов в ядре определяет структуру электронной оболочки нейтрального атома и, таким образом, химические свойства соответствующего элемента. Количество нейтронов в ядре называется его изотопическим числом  $N$ . Ядра с одинаковым числом протонов и разным числом нейтронов называются изотопами. Ядра с одинаковым числом нейтронов, но разным числом протонов — называются изотонами. Термины изотоп и изотон используются также применительно к атомам, содержащим указанные ядра, а также для характеристики нехимических разновидностей одного химического элемента. Полное количество нуклонов в ядре

называется его массовым числом  $A$  ( $A = N + Z$ ) и приблизительно равно средней массе атома, указанной в таблице Менделеева. Нуклиды с одинаковым массовым числом, но разным протон-нейтронным составом принято называть изобарами.

Как и любая квантовая система, ядра могут находиться в метастабильном возбуждённом состоянии, причём в отдельных случаях время жизни такого состояния исчисляется годами. Такие возбуждённые состояния ядер называются ядерными изомерами.

2. Характеристики ядра: заряд, масса, энергия связи нуклонов.

Число протонов в ядре  $Z$  определяет непосредственно его электрический заряд, у изотопов одинаковое количество протонов, но разное количество нейтронов. Ядерные свойства изотопов элемента в отличие от химических, могут различаться чрезвычайно резко[1].

Впервые заряды атомных ядер определил Генри Мозли в 1913 году. Свои экспериментальные наблюдения учёный интерпретировал зависимостью длины волны рентгеновского излучения от некоторой константы  $Z$ , изменяющейся на единицу от элемента к элементу и равной единице для водорода:

$$\sqrt{1/\lambda} = aZ - b, \text{ где } a \text{ и } b \text{ — постоянные.}$$

Из чего Мозли сделал вывод, что найденная в его опытах константа атома, определяющая длину волны характеристического рентгеновского излучения и совпадающая с порядковым номером элемента, может быть только зарядом атомного ядра, что стало известно под названием закон Мозли.

Из-за разницы в числе нейтронов  $A - Z$  изотопы элемента имеют разную массу  $M(A, Z)$ , которая является важной характеристикой ядра. В ядерной физике массу ядер принято измерять в атомных единицах массы (а. е. м.), за одну а. е. м. принимают 1/12 часть массы нуклида  $^{12}\text{C}$ . Следует отметить, что стандартная масса, которая обычно приводится для нуклида — это масса нейтрального атома. Для определения массы ядра нужно из массы атома вычесть сумму масс всех электронов (более точное значение получится, если учесть ещё и энергию связи электронов с ядром).

Анализ распада тяжёлых ядер уточнил оценку Резерфорда и связал радиус ядра с массовым числом простым соотношением:

$$R = r_0 A^{1/3}, \text{ где } r_0 \text{ — константа.}$$

Так как радиус ядра не является чисто геометрической характеристикой и связан прежде всего с радиусом действия ядерных сил, то значение  $r_0$  зависит от процесса, при анализе которого получено значение  $R$ , усреднённое значение  $r_0 = 1,23 \cdot 10^{-15}$  м.

Как и составляющие его нуклоны, ядро имеет собственные моменты.

Поскольку нуклоны обладают собственным механическим моментом, или спином, равным  $1/2$ , то и ядра должны иметь механические моменты. Кроме того, нуклоны участвуют в ядре в орбитальном движении, которое также характеризуется определённым моментом количества движения каждого нуклона. Орбитальные моменты принимают только целочисленные значения  $\hbar$  (постоянная Дирака). Все механические моменты нуклонов, как спины, так и орбитальные, суммируются алгебраически и составляют спин ядра.

Несмотря на то, что число нуклонов в ядре может быть очень велико, спины ядер обычно невелики и составляют не более нескольких  $\hbar$ , что объясняется особенностью взаимодействия одноимённых нуклонов. Все парные протоны и нейтроны взаимодействуют только так, что их спины взаимно компенсируются, то есть пары всегда взаимодействуют с антипараллельными спинами. Суммарный орбитальный момент пары также всегда равен нулю. В результате ядра, состоящие из чётного числа протонов и чётного числа нейтронов, не имеют механического момента. Отличные от нуля спины существуют только у ядер, имеющих в своём составе непарные нуклоны, спин такого нуклона суммируется с его же орбитальным моментом и имеет какое-либо полуцелое значение:  $1/2, 3/2, 5/2$ . Ядра нечётно-нечётного состава имеют целочисленные спины:  $1, 2, 3$  и т. д.

Измерения спинов стали возможными благодаря наличию непосредственно связанных с ними магнитных моментов. Они измеряются в магнетонах и у различных ядер равны от  $-2$  до  $+5$  ядерных магнетонов. Из-за относительно большой массы нуклонов магнитные моменты ядер очень малы по сравнению с магнитными моментами электронов, поэтому их измерение гораздо сложнее. Как и спины, магнитные моменты измеряются спектроскопическими методами, наиболее точным является метод ядерного магнитного резонанса.

Магнитный момент чётно-чётных пар, как и спин, равен нулю. Магнитные моменты ядер с непарными нуклонами образуются собственными моментами этих нуклонов и моментом, связанным с орбитальным движением непарного протона.

Большая энергия связи нуклонов, входящих в ядро, говорит о существовании ядерных сил, поскольку известные гравитационные силы слишком малы, чтобы преодолеть взаимное электростатическое отталкивание протонов в ядре. Связь нуклонов осуществляется чрезвычайно короткоживущими силами, которые возникают вследствие непрерывного обмена частицами, называемыми пи-мезонами, между нуклонами в ядре.

Экспериментально было обнаружено, что для всех стабильных ядер масса ядра меньше суммы масс составляющих его нуклонов, взятых по отдельности. Эта разница называется дефектом массы или избытком массы и определяется соотношением:

$$\Delta M(Z, A) = Zm_p + (A - Z)m_n - M(Z, A),$$

где  $m_p$  и  $m_n$  — массы свободного протона и нейтрона,  $M(Z, A)$  — масса ядра.

Согласно принципу эквивалентности массы и энергии дефект массы представляет собой массу, эквивалентную работе, затраченной ядерными силами, чтобы собрать все нуклоны вместе при образовании ядра. Эта величина равна изменению потенциальной энергии нуклонов в результате их объединения в ядро.

Энергия, эквивалентная дефекту массы, называется энергией связи ядра и равна:

$$E_c = (Zm_p + (A - Z)m_n - M(Z, A))c^2,$$

где  $c$  — скорость света в вакууме.

Другим важным параметром ядра является энергия связи, приходящаяся на один нуклон ядра, которую можно вычислить, разделив энергию связи ядра на число содержащихся в нём нуклонов:

$$\varepsilon = \frac{E_c}{A}$$

Эта величина представляет собой среднюю энергию, которую нужно затратить, чтобы удалить один нуклон из ядра, или среднее изменение энергии связи ядра, когда свободный протон или нейтрон поглощается в нём.

### 3. Радиоактивность. Виды и законы радиоактивного излучения.

Радиоактивный распад — спонтанное изменение состава (заряда  $Z$ , массового числа  $A$ ) или внутреннего строения нестабильных атомных ядер путём испускания элементарных частиц, гамма-квантов и/или ядерных фрагментов. Процесс радиоактивного распада также называют радиоактивностью, а соответствующие ядра (нуклиды, изотопы и химические элементы) радиоактивными. Радиоактивными называют также вещества, содержащие радиоактивные ядра.

Установлено, что радиоактивны все химические элементы с порядковым номером, большим 82 (то есть начиная с висмута), и некоторые более лёгкие элементы (прометий и технеций не имеют стабильных изотопов, а у некоторых элементов, например индия, калия, рубидия или кальция, одни природные изотопы стабильны, другие же радиоактивны).

Естественная радиоактивность — самопроизвольный распад атомных ядер, встречающихся в природе.

Искусственная радиоактивность — самопроизвольный распад атомных ядер, полученных искусственным путем через соответствующие ядерные реакции.

Ядро, испытывающее радиоактивный распад, и ядро, возникающее в результате этого распада, называют соответственно материнским и дочерним ядрами. Изменение массового числа и заряда дочернего ядра по отношению к материнскому описывается правилом смещения Содди.

Распад, сопровождающийся испусканием альфа-частиц, называли альфа-распадом; распад, сопровождающийся испусканием бета-частиц, был назван бета-распадом (в настоящее время известно, что существуют типы бета-распада без испускания бета-частиц, однако бета-распад всегда сопровождается испусканием нейтрино или антинейтрино). Термин «гамма-распад» применяется редко; испускание ядром гамма-квантов называют обычно изомерным переходом. Гамма-излучение часто сопровождает другие типы распада, когда в результате первого этапа распада возникает дочернее ядро в возбуждённом состоянии, затем испытывающее переход в основное состояние с испусканием гамма-квантов.

Энергетические спектры  $\alpha$ -частиц и  $\gamma$ -квантов, излучаемых радиоактивными ядрами, прерывистые («дискретные»), а спектр  $\beta$ -частиц — непрерывный.

В настоящее время, кроме альфа-, бета- и гамма-распадов, обнаружены распады с испусканием нейтрона, протона (а также двух протонов), кластерная радиоактивность, спонтанное деление. Электронный захват, позитронный распад (или  $\beta^+$ -распад), а также двойной бета-распад (и его виды) обычно считаются различными типами бета-распада.

Закон радиоактивного распада — закон, открытый Фредериком Содди и Эрнестом Резерфордом экспериментальным путём и сформулированный в 1903 году. Современная формулировка закона:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N,$$

что означает, что число распадов за интервал времени  $t$  в произвольном веществе пропорционально числу  $N$  имеющихся в образце радиоактивных атомов данного типа.

В этом математическом выражении  $\lambda$  — постоянная распада, которая характеризует вероятность радиоактивного распада за единицу времени и имеет размерность  $\text{с}^{-1}$ . Знак минус указывает на убыль числа радиоактивных ядер со временем. Закон выражает независимость распада радиоактивных ядер друг от друга и от времени: вероятность распада данного ядра в каждую следующую единицу времени не зависит от времени, прошедшего с начала эксперимента, и от количества ядер, оставшихся в образце.

Этот закон считается основным законом радиоактивности, из него было извлечено несколько важных следствий, среди которых формулировки характеристик распада — среднее время жизни атома и период полураспада.

Константа распада радиоактивного ядра в большинстве случаев практически не зависит от окружающих условий (температуры, давления, химического состава вещества и т. п.). Например, твёрдый тритий  $T_2$  при температуре в несколько кельвинов распадается с той же скоростью, что и газообразный тритий при комнатной температуре или при температуре в тысячи кельвинов; тритий в составе молекулы  $T_2$  распадается с той же скоростью, что и в составе тритированного валина. Слабые изменения константы распада в лабораторных условиях обнаружены лишь для электронного захвата — доступные в лаборатории температуры и давления, а также изменение химического состава способны несколько изменять плотность электронного облака в окружении ядра, что приводит к изменению скорости распада на доли процента. Однако в достаточно жёстких условиях (высокая ионизация атома, высокая плотность электронов, высокий химический потенциал нейтрино, сильные магнитные поля), труднодостижимых в лаборатории, но реализующихся, например, в ядрах звёзд, другие типы распадов тоже могут изменять свою вероятность.

Постоянство константы радиоактивного распада позволяет измерять возраст различных природных и искусственных объектов по распаду входящих в их состав радиоактивных ядер и накоплению продуктов распада. Разработан ряд методов радиоизотопного датирования, позволяющих измерять возраст объектов в диапазоне от единиц до миллиардов лет; среди них наиболее известны радиоуглеродный метод, уран-свинцовский метод, уран-гелиевый метод, калий-argonовый метод и др.

#### 4. Ядерные реакции. Деление ядер. Синтез ядер.

Ядерная реакция — это процесс взаимодействия атомного ядра с другим ядром или элементарной частицей, сопровождающийся изменением состава и структуры ядра. Последствием взаимодействия может стать деление ядра, испускание элементарных частиц или фотонов. Кинетическая энергия вновь образованных частиц может быть гораздо выше первоначальной, при этом говорят о выделении энергии ядерной реакции.

Впервые ядерную реакцию наблюдал Резерфорд в 1919 году, бомбардируя  $\alpha$ -частицами ядра атомов азота, она была зафиксирована по появлению вторичных ионизирующих частиц, имеющих пробег в газе больше пробега  $\alpha$ -частиц и идентифицированных как протоны. Впоследствии с помощью камеры Вильсона были получены фотографии этого процесса.

По механизму взаимодействия ядерные реакции делятся на два вида:

- реакции с образованием составного ядра, это двухстадийный процесс, протекающий при не очень большой кинетической энергии сталкивающихся частиц (примерно до 10 МэВ).
- прямые ядерные реакции, проходящие за ядерное время, необходимое для того, чтобы частица пересекла ядро. Главным образом такой механизм проявляется при больших энергиях бомбардирующих частиц.

Если после столкновения сохраняются исходные ядра и частицы и не рождаются новые, то реакция является упругим рассеянием в поле ядерных сил, сопровождается только перераспределением кинетической энергии и импульса частицы и ядра-мишени и называется потенциальным рассеянием.

Ядерная реакция деления — процесс расщепления атомного ядра на два (реже три) ядра с близкими массами, называемых осколками деления.

Ядерная реакция синтеза — процесс образования более крупного ядра из более мелких частиц.

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

### 2.1 Лабораторная работа № 1 (2 часа).

**Тема:** «Определение плотности тел правильной геометрической формы»

**2.1.1 Цель работы:** определить плотность тела правильной геометрической формы

**2.1.2 Задачи работы:**

1. Освоить методику экспериментального определения значений физических величин

2. Научиться обрабатывать результаты измерений

3. Находить погрешности измерений

**2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Цилиндр

## 2. Штангенциркуль

### 2.1.4 Описание (ход) работы:

1. Познакомиться с устройством штангенциркуля.
2. Измерить высоту цилиндра с помощью штангенциркуля не менее 3 раз в различных местах и результат измерений занести в таблицу.
3. Определить среднюю абсолютную  $\langle \Delta h \rangle$  и относительную  $\varepsilon = \frac{\langle \Delta h \rangle}{\langle h \rangle}$  погрешности измерений и результат обработки занести в таблицу.
4. Измерить диаметр цилиндра не менее 3 раз в различных местах и результат измерений занести в таблицу.
5. Определить среднюю абсолютную  $\langle \Delta d \rangle$  и относительную  $\varepsilon$  погрешности измерений и результаты обработки занести в таблицу.
6. Вычислить объем цилиндра по формуле  $V = \frac{\pi d^2}{4} \cdot h$ , применив правила приближенных вычислений. По правилам приближенных вычислений в исходных данных и в окончательном результате нужно оставить столько значащих цифр, сколько их есть в исходном данном с наименьшим числом значащих цифр.

7. Рассчитать абсолютную  $\Delta V$  и относительную ошибку  $\varepsilon_V = \frac{\Delta V}{V}$  по формулам погрешностей косвенных измерений.
8. Определить массу цилиндра с помощью весов и разновесов (технические весы обеспечивают точность 0,1 г, эту величину берут за абсолютную ошибку определения массы цилиндра). Величина массы может быть выбита на торце цилиндра.
9. Рассчитать плотность цилиндра по формуле  $\rho = 4m / \pi d^2 h$ .
10. Найти по таблице, из какого вещества он изготовлен.
11. Найти относительную погрешность вычисления плотности вещества:  
$$\varepsilon_\rho = \langle \Delta m \rangle / \langle m \rangle + \langle \Delta V \rangle / \langle V \rangle = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta V}{V}$$
12. Найти абсолютную погрешность в определении плотности вещества  $\Delta \rho = \varepsilon_\rho \langle \rho \rangle$ .
13. Записать окончательный результат в виде  $\rho = \langle \rho \rangle \pm \langle \Delta \rho \rangle = \rho \pm \Delta \rho$ .

## 2.2 Лабораторная работа № 2 (2 часа).

**Тема:** «Определение момента инерции диска»

**2.2.1 Цель работы:** определить момент инерции диска

**2.2.2 Задачи работы:**

1. Изучить закономерности поступательного и вращательного движений
2. Экспериментально проверить справедливость закона сохранения энергии

**2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Установка для проведения эксперимента
2. Набор грузов
3. Секундомер
4. Штангенциркуль

**2.2.4 Описание (ход) работы:**

1. Определить с помощью штангенциркуля радиус вала.
2. Поднять груз до верхней метки, отпустить его и одновременно включить секундомер.
3. Отсчитать время опускания груза  $t$  и расстояние  $h_1$ .
4. Отметить положение груза после подъема и измерить  $h_2$ .
5. Подсчитать момент инерции диска.
6. Изменить  $h_1$  и снова произвести измерения и вычисления.  
Опыт произвести не менее трех раз. Определить  $J_{cp}$ .
7. Момент инерции сплошного диска определить по формуле:  $J' = \frac{MR^2}{2}$ , где  $M$  - масса диска (указана на диске),  $R$  – радиус диска (определить с помощью штангенциркуля). Сравнить значения  $J_{cp}$  и  $J'$ .
8. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.
9. Найти абсолютную и относительную погрешности вычисления момента инерции диска.

### **2.3 Лабораторная работа № 3 (2 часа).**

**Тема:** «Определение влажности воздуха психрометром»

**2.3.1 Цель работы:** определить влажность воздуха

**2.3.2 Задачи работы:**

1. Изучить закономерности процесса испарения жидкостей
2. Изучить методику экспериментального определения влажности воздуха

**2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Психрометр

**2.3.4 Описание (ход) работы:**

1. Снять показания с сухого термометра  $T_1$ . Конец термометра, обмотанного ватой, смачивают водой. После установления термодинамического равновесия (5-7 минут) снять показания с термометра  $T_2$ .
2. Результаты измерений и вычислений заносят в таблицу:
3. Определить по вашим данным  $T_1$  и  $T_2$  относительную влажность воздуха и сравнить с вычисленной ранее.

### **2.4 Лабораторная работа № 4 (2 часа).**

**Тема:** «Определение емкости конденсатора баллистическим гальванометром»

**2.4.1 Цель работы:** определить емкость конденсатора

**2.4.2 Задачи работы:**

1. Рассмотреть конструкцию и принцип действия конденсаторов, а также закономерности их последовательного и параллельного соединения

2. Изучить методику экспериментального определения емкости конденсаторов

**2.4.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Баллистический гальванометр

2. Вольтметр

3. Реостат

4. Двойной переключатель
5. Набор конденсаторов
6. Источник тока
7. Выпрямитель

#### **2.4.4 Описание (ход) работы:**

1. Собирать схему и включить конденсатор известной емкости (эталон).
2. Устанавливают с помощью потенциометра напряжение 40 В, измеряя его вольтметром.
3. Устанавливают переключатель в положение, при котором конденсатор заряжается.
4. Перекидывают переключатель в положение, при котором конденсатор разряжается через гальванометр.
5. Измеряют отклонение рамки гальванометра по шкале и записывают результат в таблицу.
6. Измеряют отклонение рамки, повышая напряжение на 10 В. Таких измерений делают не менее 5.
7. По данным измерений с эталонным конденсатором определяют заряд, соответствующий определенному отклонению гальванометра по формуле:  $q = CU$ .
8. Ставят градуировочный график, откладывая по оси абсцисс отклонение стрелки  $n$ , а по оси ординат – величину заряда  $q$ .
9. Переключив провода с конденсатора известной емкости на конденсатор, емкость которого определяется, проделывают все то, что было указано в пунктах 3 - 5. Результаты измерений заносят в таблицу (для определения неизвестной емкости достаточно измерить отклонения стрелки при двух значениях).
10. Зная отклонение, полученное при опыте с конденсатором неизвестной емкости, определяют по графику заряд  $q$  неизвестного конденсатора и по известному напряжению находят его емкость  $C_1$ . Полученные результаты заносят в таблицу.
11. Заменяют первый конденсатор неизвестной емкости вторым и проводят измерения с ним  $C_2$  так, как указано в пункте 10.
12. Проводят измерения с обоими конденсаторами, включая их сначала последовательно  $C'$ , а потом параллельно  $C''$ .
13. Наблюдение отклонения гальванометра при разрядке конденсаторов, включенных параллельно, необходимо проводить после зарядки небольшим напряжением 60 - 80 В. Если отклонение при этом невелико, то напряжение постепенно увеличивают, добиваясь больших отклонений, но не превышающих градуированных.
14. Для проверки найденных значений емкостей  $C'$  и  $C''$  находят значение емкостей по формулам.

### **2.5 Лабораторная работа № 5 (2 часа).**

**Тема:** «Последовательное и параллельное соединение проводников»

**2.5.1 Цель работы:** изучить закономерности различных видов соединения проводников

#### **2.5.2 Задачи работы:**

1. Изучить закономерности последовательного соединения проводников
2. Изучить закономерности параллельного соединения проводников

#### **2.5.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Амперметр

2. Вольтметр
3. Набор сопротивлений
4. Соединительные провода
5. Источник тока

#### **2.5.4 Описание (ход) работы:**

*Задание 1:*

1. Ознакомиться с приборами и записать основные характеристики измерительных приборов;
2. Определить цену деления прибора, для многопредельных приборов определяют цену деления на каждом пределе;
3. Собирают схему последовательного соединения проводников.

Вольтметр подключается параллельно тому участку, где нужно измерить напряжение.

4. Присоединяя провода к зажимам сопротивлений, измерить падение напряжения на каждом сопротивлении и в общей цепи. Измерить силу тока.

*Примечание:* показания амперметра записывают при отключенном вольтметре.

5. Убедиться, что  $U = U_1 + U_2 + U_3$  и  $R_o = R_1 + R_2 + R_3$

$$\left( R_1 = \frac{U_1}{I}; R_2 = \frac{U_2}{I}; R_3 = \frac{U_3}{I}; R = \frac{U}{I} \right)$$

где  $P$  – общая мощность ( $P = P_1 + P_2 + P_3$ )

$P_i$  – мощность, развиваемая на отдельных участках

$$(P_1 = IU_1, P_2 = IU_2, P_3 = IU_3)$$

6. Результаты измерений и вычислений записать в таблицу 1.

*Задание 2.*

1. Собрать схему и измерить общее напряжение и общую силу тока.

2. Измерить силу тока в каждой ветви, включая амперметр в каждую ветвь

3. Составить таблицу для занесения данных и записать в неё результаты измерений, полученные при параллельном соединении проводников (резисторов)

4. Убедиться в том, что при параллельном соединении соблюдаются соотношения  $U_o = U_1 + U_2 + U_3$ ,  $I_o = I_1 + I_2 + I_3$

$$R_{\text{теор}} = R_{\text{эксп}}; \quad \frac{1}{R_{\text{теор}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

5. Составить отчет по работе и сделать выводы.

#### **2.6 Лабораторная работа № 6 (2 часа).**

**Тема:** «Изучение законов свободных колебаний упругодеформированного тела (пружинного маятника)»

**2.6.1 Цель работы:** изучить колебательное движение, его характеристики и законы

**2.6.2 Задачи работы:**

1. Изучить различные колебательные системы
2. Изучить законы колебательного движения

**2.6.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Компьютер с программным обеспечением, необходимым для выполнения работы

**2.6.4 Описание (ход) работы:**

1. Запустить на компьютере Виртуальный практикум по физике
  2. Следовать пунктам меню программы
  3. Составить отчет по работе
- 2.7 Лабораторная работа № 7 (2 часа).**

**Тема:** «Фотоэффект»

**2.7.1 Цель работы:** изучение явления фотоэффекта, используя компьютерную модель

**2.7.2 Задачи работы:**

1. Знакомство с квантовой моделью внешнего фотоэффекта
2. Экспериментальное исследование закономерностей внешнего фотоэффекта

**2.7.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Компьютер с программным обеспечением, необходимым для выполнения работы

**2.7.4 Описание (ход) работы:**

1. Запустить на компьютере Виртуальный практикум по физике
2. Следовать пунктам меню программы
3. Составить отчет по работе

**2.8 Лабораторная работа № 8 (2 часа).**

**Тема:** «Ядра атомов»

**2.8.1 Цель работы:** исследование структуры атомных ядер

**2.8.2 Задачи работы:**

1. Знакомство с основными свойствами ядер атомов
2. Исследование состава ядер и его влияния на количество изотопов

**2.8.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:**

1. Компьютер с программным обеспечением, необходимым для выполнения работы

**2.8.4 Описание (ход) работы:**

1. Запустить на компьютере Виртуальный практикум по физике
2. Следовать пунктам меню программы
3. Составить отчет по работе