

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

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

*Б1.Б.08 Физика*

**Направление подготовки 06.03.01 Биология**

**Профиль образовательной программы Биоэкология**

**Форма обучения очная**

## СОДЕРЖАНИЕ

### 1. Конспект лекций

**1.1 Лекция № 1** *Введение. Предмет физики. Кинематика поступательного и вращательного движения*

**1.2 Лекция № 2** *Динамика поступательного и вращательного движения*

**1.3 Лекция № 3** *Законы сохранения*

**1.4 Лекция № 4** *Элементы механики сплошных сред*

**1.5 Лекция № 5** *Молекулярно-кинетическая теория (МКТ)*

**1.6 Лекция № 6** *Элементы физической кинетики*

**1.7 Лекция № 7** *Феноменологическая термодинамика*

**1.8 Лекция № 8** *Электростатика*

**1.9 Лекция № 9** *Постоянный электрический ток*

**1.10 Лекция № 10** *Магнитостатика*

**1.11 Лекция № 11** *Электромагнитная индукция*

**1.12 Лекция № 12** *Гармонические колебания*

**1.13 Лекция № 13** *Волны*

**1.14 Лекция № 14** *Волновая оптика*

**1.15 Лекция № 15** *Квантовая физика*

**1.16 Лекция № 16** *Ядерная физика*

**2. Методические материалы по выполнению лабораторных работ (не предусмотрено РУП)**

**3. Методические материалы по проведению практических занятий**

**3.1 Практическое занятие № ПЗ-1** *Физические величины, их измерение и оценка погрешностей*

**3.2 Практическое занятие № ПЗ-2** *Кинематика поступательного и вращательного движения*

**3.3 Практическое занятие № ПЗ-3** *Динамика поступательного и вращательного движения*

**3.4 Практическое занятие № ПЗ-4** *Законы сохранения*

**3.5 Практическое занятие № ПЗ-5** *Элементы механики сплошных сред*

**3.6 Практическое занятие № ПЗ-6** *Молекулярно-кинетическая теория (МКТ)*

**3.7 Практическое занятие № ПЗ-7** *Феноменологическая термодинамика*

**3.8 Практическое занятие № ПЗ-8** *Электростатика*

**3.9 Практическое занятие № ПЗ-9** *Постоянный электрический ток*

**3.10 Практическое занятие № ПЗ-10 *Магнитостатика***

**3.11 Практическое занятие № ПЗ-11 *Электромагнитная индукция***

**3.12 Практическое занятие № ПЗ-12 *Гармонические колебания***

**3.13 Практическое занятие № ПЗ-13 *Волны***

**3.14 Практическое занятие № ПЗ-14 *Волновая оптика***

**3.15 Практическое занятие № ПЗ-15 *Квантовая физика***

**3.16 Практическое занятие № ПЗ-16 *Ядерная физика***

**3.17 Практическое занятие № ПЗ-17 *Физическая картина мира***

**4. Методические материалы по проведению семинарских занятий (не предусмотрено РУП)**

# 1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

## 1.1 Лекция № 1 (2 часа)

**Тема:** «Введение. Предмет физики. Кинематика поступательного и вращательного движения»

### 1.1.1 Вопросы лекции:

1. Физика в системе естественных наук.
2. Общая структура и задачи дисциплины «Физика».
3. Экспериментальная и теоретическая физика.
4. Основные кинематические характеристики криволинейного движения: ско-рость и ускорение.
5. Нормальное и тангенциальное ускорение.
6. Кинематика вращательного движения: угловая скорость и угловое ускорение, их связь с линейной скоростью и ускорением.

### 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. 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.

5. Нормальное и тангенциальное ускорение.

Центростремительное ускорение — компонента ускорения точки, характеризующая быстроту изменения направления вектора скорости для траектории с кривизной (вторая компонента, тангенциальное ускорение, характеризует изменение модуля скорости). Направлено к центру кривизны траектории, чем и обусловлен термин. По величине равно квадрату скорости, поделенному на радиус кривизны. Термин «центростремительное ускорение» эквивалентен термину «нормальное ускорение». Ту составляющую суммы сил, которая обуславливает это ускорение, называют центростремительной силой.

Тангенциальное ускорение — компонента ускорения, направленная по касательной к траектории движения. Характеризует изменение модуля скорости в отличие от нормальной компоненты, характеризующей изменение направления скорости. Тангенциальное ускорение равно произведению единичного вектора, направленного по скорости движения, на производную модуля скорости по времени. Таким образом, направлено в ту же сторону, что и вектор скорости при ускоренном движении (положительная производная) и в противоположную при замедленном (отрицательная производная).

6. Кинематика вращательного движения: угловая скорость и угловое ускорение, их связь с линейной скоростью и ускорением.

Угловая скорость — векторная величина, являющаяся аксиальным вектором (псевдовектором) и характеризующая скорость вращения материальной точки вокруг центра вращения. Вектор угловой скорости по величине равен углу поворота точки вокруг центра вращения за единицу времени.

Угловое ускорение — псевдовекторная физическая величина, равная первой производной от псевдовектора угловой скорости по времени.

## Равномерное движение

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

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

## Неравномерное движение

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

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

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

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

### Линейные величины

Путь

Линейная скорость

Линейное ускорение

### Угловые величины

Угол поворота

Угловая скорость

Угловое ускорение

## 1.2 Лекция № 2 (2 часа)

**Тема:** «Динамика поступательного и вращательного движения»

### 1.2.1 Вопросы лекции:

1. Первый закон Ньютона.
2. Второй закон Ньютона.
3. Третий закон Ньютона.
4. Момент инерции.
5. Формула Штейнера.
6. Момент силы.
7. Уравнение вращения твердого тела вокруг закрепленной оси.

### 1.2.2 Краткое содержание вопросов

1. 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 него не действуют никакие силы. Чтобы изменить скорость движения тела, на него необходимо подействовать 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.

### 2. 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

### 3. 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.

### 4. Момент инерции.

Момент инерции — скалярная физическая величина, мера инертности во вращательном движении вокруг оси, подобно тому, как масса тела является мерой его инертности в поступательном движении. Характеризуется распределением масс в теле: момент инерции равен сумме произведений элементарных масс на квадрат их расстояний до базового множества (точки, прямой или плоскости).

### 5. Формула Штейнера.

Теорема Гюйгенса — Штейнера (теорема Гюйгенса, теорема Штейнера): момент инерции тела относительно произвольной неподвижной оси равен сумме момента инерции этого тела относительно параллельной ей оси, проходящей через центр масс тела, и произведения массы тела на квадрат расстояния между осями

$$J = J_o + ma^2$$

### 6. Момент силы.

Момент силы (синонимы: крутящий момент, вращательный момент, вертящий момент, врачающий момент) — векторная физическая величина, равная векторному произведению радиус-вектора (проведённого от оси вращения к точке приложения силы — по определению) на вектор этой силы. Характеризует вращательное действие силы на твёрдое тело.

Понятия «вращающий» и «крутящий» моменты в общем случае не тождественны, так как в технике понятие «вращающий» момент рассматривается как внешнее усилие, прикладываемое к объекту, а «крутящий» — внутреннее усилие, возникающее в объекте под действием приложенных нагрузок

### 7. 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.

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

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.

## 1.3 Лекция № 3 (2 часа)

**Тема: «Законы сохранения»**

**1.3.1 Вопросы лекции:**

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

**1.3.2 Краткое содержание вопросов**

**1. 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

**2. Мощность**

Мощность — скалярная физическая величина, равная отношению совершенной работы к промежутку времени, в течение которого она была совершена.

**3. Энергия**

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

**4. 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

**5. 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

**6. 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

**7. Момент импульса**

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

**8. 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

**1.4 Лекция № 4 (2 часа)**

**Тема: «Элементы механики сплошных сред»**

**1.4.1 Вопросы лекции:**

1. Общие свойства жидкостей и газов.
2. Стационарное течение идеальной жидкости.
3. Уравнение Бернулли.
4. Упругие напряжения и деформации в твердом теле.
5. Закон Гука.
6. Модуль Юнга.
7. Коэффициент Пуассона.

**1.4.2 Краткое содержание вопросов**

**1. Общие свойства жидкостей и газов.**

В механике с большой степенью точности жидкости и газы рассматриваются как сплошные, непрерывно распределенные в занятой ими части пространства.

**2. Стационарное течение идеальной жидкости.**

Сжимаемостью жидкости и газа во многих задачах можно пренебречь и пользоваться единым понятием идеальной несжимаемой жидкости — жидкости, плотность которой всюду одинакова и не изменяется со временем.

Течение жидкости представляет собой поле скоростей, изображенное с помощью линий тока. Если поле скоростей, то есть форма и расположение соответствующие ему линии тока не меняются с течением времени, то движение жидкости называется стационарным или установившимся.

**3. Уравнение Бернулли.**

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho gh_1 + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho gh_2 + p_2$$

#### 4. Упругие напряжения и деформации в твердом теле.

Деформация — изменение взаимного положения частиц тела, связанное с их перемещением относительно друг друга. Деформация представляет собой результат изменения межатомных расстояний и перегруппировки блоков атомов. Обычно деформация сопровождается изменением величин межатомных сил, мерой которого является упругое механическое напряжение.

Деформации разделяют на обратимые (упругие) и необратимые (пластические, ползучести). Упругие деформации исчезают после окончания действия приложенных сил, а необратимые — остаются. В основе упругих деформаций лежат обратимые смещения атомов металлов от положения равновесия (другими словами, атомы не выходят за пределы межатомных связей); в основе необратимых — необратимые перемещения атомов на значительные расстояния от исходных положений равновесия (то есть выход за рамки межатомных связей, после снятия нагрузки переориентация в новое равновесное положение).

#### 5. Закон Гука.

Закон Гука — утверждение, согласно которому деформация, возникающая в упругом теле. пропорциональна приложенной к этому телу силе. Следует иметь в виду, что закон Гука выполняется только при малых деформациях. При превышении предела пропорциональности связь между напряжениями и деформациями становится нелинейной. Для многих сред закон Гука неприменим даже при малых деформациях.

#### 6. Модуль Юнга.

Модуль Юнга (модуль продольной упругости) — физическая величина, характеризующая свойства материала сопротивляться растяжению/сжатию при упругой деформации

#### 7. Коэффициент Пуассона.

Коэффициент Пуассона — величина отношения относительного поперечного сжатия к относительному продольному растяжению. Этот коэффициент зависит не от размеров тела, а от природы материала, из которого изготовлен образец. Коэффициент Пуассона и модуль Юнга полностью характеризуют упругие свойства изотропного материала.

### 1.5 Лекция 5 (Л-5) (2 часа)

**Тема:** «Молекулярно-кинетическая теория (МКТ)»

#### 1.5.1 Вопросы лекции:

1. Основные положения МКТ.
2. Давление газа с точки зрения МКТ.
3. Распределение Максвелла молекул идеального газа.
4. Экспериментальное обоснование распределения Максвелла.

#### 1.5.2 Краткое содержание вопросов

##### 1. Основные положения 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. Давление газа с точки зрения МКТ.

Давление газа на стенку сосуда есть результат ударов молекул газа об эту стенку. При каждом ударе молекула газа действует на стенку с определенной (с макроскопической точки зрения бесконечно малой) силой. Обратно направленная сила, с которой действует на молекулу стенка сосуда, заставляет молекулу отражаться от стенки. Если бы в сосуде содержалось всего несколько молекул, то их удары следовали бы друг за другом редко и беспорядочно, п нельзя было бы говорить ни о какой регулярной силе давления, действующей на стенку. Мы имели бы дело с отдельными практически мгновенными бесконечно малыми толчками, которым время от времени подвергалась бы стенка. Если же число молекул в сосуде очень велико, то будет велико и число ударов их о стенку сосуда. Удары станут следовать непрерывно друг за другом. Одновременно о стенку сосуда будет ударяться громадное количество молекул. Бесконечно малые силы отдельных ударов складываются в конечную и почти постоянную силу, действующую на стенку. Эта сила, усредненная по времени, и есть давление газа, с которым имеет дело макроскопическая физика.

##### 3. 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.

#### 4. Экспериментальное обоснование распределения Максвелла.

К началу двадцатого столетия мировая наука достигла достаточного уровня развития для появления реальных возможностей экспериментальной проверки теории Максвелла. Немецкий физик Отто Штерн в 1920-м году, применив метод молекулярных пучков, который был изобретен французом Луи Дюнайе в 1911-м году, сумел измерить скорость движения газовых молекул серебра. Опыт Штерна неопровергимо доказал справедливость закона распределения Максвелла. Результаты этого эксперимента подтвердили верность оценки средних скоростей атомов, которая вытекала из гипотетических предположений, сделанных Максвеллом. Правда, о самом характере скоростной градации опыт Штерна смог дать только весьма приблизительные сведения. Более подробной информации науке пришлось ждать еще девять лет.

С большей точностью закон распределения удалось проверить Ламмерту в 1929-м году, несколько усовершенствовавшему опыт Штерна путем пропускания молекулярного пучка сквозь пару вращающихся дисков, имевших радиальные отверстия и смещенные относительно друг друга на определенный угол. Изменяя скорость вращения агрегата и угол между отверстиями, Ламмерт смог выделить из пучка отдельные молекулы, которые обладают различными скоростными показателями. Но именно опыт Штерна положил начало экспериментальным изысканиям в области молекулярно-кинетической теории.

### 1.6 Лекция 6 (Л-6) (2 часа)

**Тема:** «Элементы физической кинетики»

#### 1.6.1 Вопросы лекции:

1. Явления переноса.
2. Диффузия.
3. Теплопроводность.
4. Внутреннее трение.
5. Броуновское движение.

#### 1.6.2 Краткое содержание вопросов

##### 1. Явления переноса.

В термодинамически неравновесных системах происходят особые необратимые процессы, называемые явлениями переноса, в результате которых осуществляется пространственный перенос массы, импульса, энергии. К явлениям переноса относятся теплопроводность (перенос энергии), диффузия (перенос массы) и внутреннее трение (перенос импульса).

##### 2. Диффузия.

При диффузии происходит самопроизвольное проникновение и перемешивание частиц двух соприкасающихся газов, жидкостей и даже твердых тел; диффузия есть обмен масс частиц этих тел, при этом явление возникает и продолжается, пока существует градиент плотности. Явление диффузии для химически однородного газа подчиняется закону Фика.

##### 3. Теплопроводность.

Если в первой области газа средняя кинетическая энергия молекул больше, чем во второй, то вследствие постоянных столкновений молекул с течением времени происходит процесс выравнивания средних кинетических энергий молекул, т. е., выравнивание температур. Перенос энергии в форме теплоты подчиняется закону Фурье.

##### 4. Внутреннее трение.

Суть механизма возникновения внутреннего трения между параллельными слоями газа (жидкости), которые движутся с различными скоростями, есть в том, что из-за хаотического теплового движения осуществляется обмен молекулами между слоями, в результате чего импульс слоя, который движется быстрее, уменьшается, который движется медленнее — увеличивается, что приводит к торможению слоя, который движется быстрее, и ускорению слоя, который движется медленнее.. Сила внутреннего трения между двумя слоями газа (жидкости) подчиняется закону Ньютона.

##### 5. Броуновское движение.

Броуновское движение — беспорядочное движение микроскопических видимых, взвешенных в жидкости или газе, частиц твердого вещества, вызываемое тепловым движением частиц жидкости или газа. Броуновское движение никогда не прекращается. Броуновское движение связано с тепловым движением, но не следует смешивать эти понятия. Броуновское движение является следствием и свидетельством существования теплового движения.

### 1.7 Лекция 7 (Л-7) (2 часа)

**Тема:** «Феноменологическая термодинамика»

### 1.7.1 Вопросы лекции:

1. Термодинамическое равновесие и температура. Нулевое начало термодинамики.
2. Эмпирическая температурная шкала.
3. Уравнение состояния в термодинамике.
4. Квазистатические процессы. Обратимые и необратимые процессы.
5. Первое начало термодинамики.
6. Теплоемкость. Уравнение Майера. Связь теплоемкости с числом степеней свободы молекул газа.
7. Преобразование теплоты в механическую работу.
8. Цикл Карно и его коэффициент полезного действия.
9. Энтропия.

### 1.7.2 Краткое содержание вопросов

1. 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.

2. Эмпирическая температурная шкала.

Эмпирической температурной шкалой называется шкала, устанавливаемая с помощью термометра.

Эмпирические температурные шкалы строятся на трех допущениях: выбор размера градуса и положения нуля, а также допущение линейности изменения измеряемого свойства с температурой. Последнее допущение является необоснованным.

Первоначально применявшимся эмпирические температурные шкалы реализуются с помощью зависящих от температуры различных тел. Эти шкалы различаются начальными точками отсчета и размером используемой единицы температуры: С (шкала Цельсия), F (шкала Фаренгейта).

3. Уравнение состояния в термодинамике

Уравнение состояния — уравнение, связывающее между собой термодинамические (макроскопические) параметры системы, такие, как температура, давление, объём, химический потенциал и др. Уравнение состояния можно написать всегда, когда можно применять термодинамическое описание явлений. При этом реальные уравнения состояний реальных веществ могут быть крайне сложными.

4. Квазистатические процессы. Обратимые и необратимые процессы

Термодинамический процесс — изменение значения хотя бы одного параметра состояния системы.

Термодинамический процесс, протекающий с бесконечно малым отклонением системы от равновесного состояния, называется равновесным (идеализация).

При этом система проходит ряд бесконечно близких состояний, каждое из которых является равновесным. Поэтому равновесные процессы также называют квазистатическими.

Равновесными процессами можно считать медленно протекающие процессы.

Обратимым называется такой процесс, при котором после его окончания как систему, так и окружающую среду можно вернуть в исходное состояние через те же промежуточные равновесные состояния, что и при прямом ходе.

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. Теплоемкость. Уравнение Майера. Связь теплоемкости с числом степеней свободы молекул газа

Теплоёмкость тела (обычно обозначается латинской буквой  $C$ ) — физическая величина, определяемая отношением бесконечно малого количества теплоты  $\delta Q$ , полученного телом, к соответствующему приращению его температуры  $\delta T$

$$C = \frac{\delta Q}{\delta T}.$$

Единица измерения теплоёмкости в Международной системе единиц (СИ) — Дж/К.

Для идеального газа справедливо соотношение Майера:

$$C_p - C_v = R,$$

где  $R$  — универсальная газовая постоянная,  $C_p$  — молярная теплоёмкость при постоянном давлении,  $C_v$  — молярная теплоёмкость при постоянном объёме.

Важным параметром идеального газа является число степеней свободы его молекулы —  $I$ , определяющее минимальное количество координат, с помощью которых можно однозначно задать положение молекулы в пространстве

Молекулярно-кинетическая теория позволяет установить связь между числом степеней свободы молекулы газа  $I$  и его теплоемкостями  $C_p$  и  $C_v$ . Согласно закону равнораспределения на каждую степень свободы (поступательную, вращательную и колебательную) в среднем приходится одинаковая кинетическая энергия. Таким образом, энергия одной молекулы может быть записана в виде

$$E = \frac{i}{2} k T$$

7. Преобразование теплоты в механическую работу

Преобразование теплоты в механическую энергию в теплосиловых установках основано на способности газо- или парообразного тела совершать механическую работу при изменении его объёма. При этом рабочее тело (газ или пар) должно совершить замкнутую последовательность термодинамических процессов (цикл). В результате такого цикла от одного или нескольких источников теплоты отбирается определённое количество теплоты  $Q_1$  и одному или нескольким охладителям отдаётся количество теплоты  $Q_2$ , меньшее, чем  $Q_1$ , при этом разность  $Q_1 - Q_2$  превращается в механическую работу.

8. Цикл Карно и его коэффициент полезного действия

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.

9. Энтропия.

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.

## 1.8 Лекция 8 (Л-8) (2 часа)

Тема: «Электростатика»

### 1.8.1 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.

### 1.8.2 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, помещенный в данную точку поля, к величине этого заряда.

Электростатический потенциал — скалярная энергетическая характеристика электростатического поля, характеризующая потенциальную энергию, которой обладает единичный положительный пробный заряд, помещенный 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.

### 1.9 Лекция 9 (Л-9) (2 часа)

Тема: «Постоянный электрический ток»

#### 1.9.1 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.

### **1.9.2 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.

## 1.10 Лекция 10 (Л-10) (2 часа)

Тема: «Магнитостатика»

### 1.10.1 Вопросы лекции:

1. Магнитное взаимодействие постоянных токов.
2. Вектор магнитной индукции.
3. Закон Ампера.
4. Сила Лоренца.
5. Движение зарядов в электрических и магнитных полях.
6. Закон Био-Савара-Лапласа.
7. Теорема о циркуляции (закон полного тока).

### 1.10.2 Краткое содержание вопросов

1. Магнитное взаимодействие постоянных токов.

Опыт показывает, что, подобно тому, как в пространстве, окружающем электрические заряды, возникает электростатическое поле, так в пространстве, окружающем токи и постоянные магниты, возникает силовое поле, называемое магнитным. Наличие магнитного поля обнаруживается по силовому действию на внесенные в него проводники с током или постоянные магниты. Особенности магнитного поля: действие только на движущиеся заряды. Опыт показывает, что характер воздействия магнитного поля на ток различен в зависимости от формы проводника, по которому течет ток, от расположения проводника и от направления тока. Следовательно, чтобы охарактеризовать магнитное поле, надо рассмотреть его действие на определенный ток. Подобно тому, как при исследовании электростатического поля использовались точечные заряды, при исследовании магнитного поля используется замкнутый плоский контур с током (рамка с током), размеры которого малы по сравнению с расстоянием до токов, образующих магнитное поле. Ориентация контура в пространстве характеризуется направлением нормали к контуру. В качестве положительного направления нормали принимается направление, связанное с током правилом правого винта, т. е. за положительное направление нормали принимается направление поступательного движения винта, головка которого вращается в направлении тока, текущего в рамке.

Опыты показывают, что магнитное поле оказывает на рамку с током ориентирующее действие, поворачивая ее определенным образом. Этот результат связывается с определенным направлением магнитного поля. За направление магнитного поля в данной точке принимается направление, вдоль которого располагается положительная нормаль к рамке. За направление магнитного поля может быть также принято направление, совпадающее с направлением силы, которая действует на северный полюс магнитной стрелки, помещенной в данную точку. Так как оба полюса магнитной стрелки лежат в близких точках поля, то силы, действующие на оба полюса, равны друг другу. Следовательно, на магнитную стрелку действует пара сил, поворачивающая ее так, чтобы ось стрелки, соединяющая южный полюс с северным, совпадала с направлением поля. Рамкой с током можно воспользоваться также и для количественного описания магнитного поля. Так как рамка с током испытывает ориентирующее действие поля, то на нее в магнитном поле действует пара сил.

2. Вектор магнитной индукции.

Магнитная индукция  $\vec{B}$  — векторная величина, являющаяся силовой характеристикой магнитного поля (его действия на заряженные частицы) в данной точке пространства. Определяет, с какой силой  $\vec{F}$  магнитное поле действует на заряд  $q$ , движущийся со скоростью  $\vec{v}$ .

3. Закон Ампера.

Закон Ампера — закон взаимодействия электрических токов. Впервые был установлен Андре Мари Ампером в 1820 для постоянного тока. Из закона Ампера следует, что параллельные проводники с электрическими токами, текущими в одном направлении, притягиваются, а в противоположных — отталкиваются. Законом Ампера называется также закон, определяющий силу, с которой магнитное поле действует на малый отрезок проводника с током.

4. Сила Лоренца.

Сила Лоренца — сила, с которой электромагнитное поле согласно классической (неквантовой) электродинамике действует на точечную заряженную частицу. Иногда силой Лоренца называют силу, действующую на движущийся со скоростью  $\vec{v}$  заряд  $q$  лишь со стороны магнитного поля, нередко же полную силу — со стороны электромагнитного поля вообще, иначе говоря, со стороны электрического и магнитного полей.

5. Движение зарядов в электрических и магнитных полях.

Попадая в электрические и магнитные поля, заряженные частицы оказываются под действием определенных сил и изменяют свое первоначальное движение. Изучая эти движения можно определить отношение заряда к массе и получить ценные сведения о природе этих частиц. Воздействуя на потоки

электронов и ионов электрическими и магнитными полями можно управлять этими потоками, т.е. изменять их силу и направление движения, это лежит в основе действия различных важных электронных приборов (осциллографов, электронных микроскопов, ускорителей заряженных частиц, телевизионных трубок и др.).

#### 6. Закон Био—Савара—Лапласа.

Закон Био—Савара—Лапласа — физический закон для определения вектора индукции магнитного поля, порождаемого постоянным электрическим током. Был установлен экспериментально в 1820 году Био и Саваром и сформулирован в общем виде Лапласом. Лаплас показал также, что с помощью этого закона можно вычислить магнитное поле движущегося точечного заряда (считая движение одной заряженной частицы током).

Закон Био—Савара—Лапласа играет в магнитостатике ту же роль, что и закон Кулона в электростатике. Закон Био—Савара—Лапласа можно считать главным законом магнитостатики, получая из него остальные ее результаты.

В современной формулировке закон Био—Савара—Лапласа чаще рассматривают как следствие двух уравнений Максвелла для магнитного поля при условии постоянства электрического поля, т.е. в современной формулировке уравнения Максвелла выступают как более фундаментальные (прежде всего хотя бы потому, что формулу Био—Савара—Лапласа нельзя просто обобщить на общий случай полей, зависящих от времени).

#### 7. Теорема о циркуляции (закон полного тока).

Полный ток — это алгебраическая сумма токов, проходящих через ограниченную замкнутым контуром поверхность.

Определение закона полного тока: магнитодвижущая сила вдоль замкнутого контура равна полному току, пронизывающему поверхность, ограниченную данным контуром.

### 1.11 Лекция 11 (Л-11) (2 часа)

Тема: «Электромагнитная индукция»

#### 1.11.1 Вопросы лекции:

1. Феноменология электромагнитной индукции.
2. Правило Ленца.
3. Уравнение электромагнитной индукции.
4. Самоиндукция.
5. Индуктивность соленоида.
6. Работа по перемещению контура с током в магнитном поле.
7. Энергия магнитного поля.

#### 1.11.2 Краткое содержание вопросов

1. Феноменология электромагнитной индукции.

Электромагнитная индукция — явление возникновения электрического тока в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, проходящего через него. Электромагнитная индукция была открыта Майклом Фарадеем 29 августа 1831 года. Он обнаружил, что электродвижущая сила, возникающая в замкнутом проводящем контуре, пропорциональна скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную этим контуром. Величина электродвижущей силы (ЭДС) не зависит от того, что является причиной изменения потока — изменение самого магнитного поля или движение контура (или его части) в магнитном поле. Электрический ток, вызванный этой ЭДС, называется индукционным током.

2. Правило Ленца.

Правило Ленца определяет направление индукционного тока и гласит: индукционный ток всегда имеет такое направление, что он ослабляет действие причины, возбуждающей этот ток.

Правило сформулировано в 1833 году Э. Х. Ленцем. Позднее оно было обобщено на все физические явления в работах Ле Шателье (1884 год) и Брауна (1887 год), это обобщение известно как принцип Ле Шателье — Брауна.

Правило Ленца носит обобщённый характер и справедливо в различных физических ситуациях, которые могут отличаться конкретным физическим механизмом возбуждения индукционного тока. Так, если изменение магнитного потока вызвано изменением площади контура (например, за счёт движения одной из сторон прямоугольного контура), то индукционный ток возбуждается силой Лоренца, действующей на электроны перемещаемого проводника в постоянном магнитном поле. Если же изменение магнитного потока связано с изменением величины внешнего магнитного поля, то индукционный ток возбуждается вихревым электрическим полем, появляющимся при изменении магнитного поля. Однако в обоих случаях индукционный ток направлен так, чтобы скомпенсировать изменение потока магнитного поля через контур.

Если внешнее магнитное поле, пронизывающее неподвижный электрический контур, создаётся током, текущим в другом контуре, то индукционный ток может оказаться направлен как в том же направлении, что и внешний, так и в противоположном: это зависит от того, уменьшается или увеличивается внешний ток. Если внешний ток увеличивается, то растёт создаваемое им магнитное поле и его поток, что приводит к появлению индукционного тока, уменьшающего это увеличение. В этом случае индукционный ток направлен в сторону, противоположную основному. В обратном случае, когда внешний

ток уменьшается со временем, уменьшение магнитного потока приводит к возбуждению индукционного тока, стремящегося увеличить поток, и этот ток направлен в ту же сторону, что и внешний ток.

### 3. Уравнение электромагнитной индукции.

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

, где

$\mathcal{E}$  — электродвижущая сила, действующая вдоль произвольно выбранного контура,

$$= \iint_S \vec{B} \cdot d\vec{S},$$

$\Phi_B$  — магнитный поток через поверхность, ограниченную этим контуром;

$dt$  — время.

Знак «минус» в формуле отражает правило Ленца.

### 4. Самоиндукция.

Самоиндукция — это явление возникновения ЭДС индукции в проводящем контуре при изменении протекающего через контур тока.

При изменении тока в контуре пропорционально меняется и магнитный поток через поверхность, ограниченную этим контуром. Изменение этого магнитного потока, в силу закона электромагнитной индукции, приводит к возбуждению в этом контуре индуктивной ЭДС.

Это явление и называется самоиндукцией. (Понятие родственno понятию взаимоиндукции, являясь как бы его частным случаем).

Направление ЭДС самоиндукции всегда оказывается таким, что при возрастании тока в цепи ЭДС самоиндукции препятствует этому возрастанию (направлена против тока), а при убывании тока — убыванию (сопротивлена с током). Этим свойством ЭДС самоиндукции сходна с силой инерции.

Величина ЭДС самоиндукции пропорциональна скорости изменения силы тока.

### 5. Индуктивность соленоида.

Соленоид — разновидность катушки индуктивности. Обычно под термином «соленоид» подразумевается цилиндрическая обмотка из провода, причём длина такой обмотки многократно превышает её диаметр.

Конструктивно длинные соленоиды выполняются как в виде однослойной намотки, так и многослойной.

Если длина намотки значительно превышает диаметр намотки, то в полости соленоида при подаче в него электрического тока порождается магнитное поле, близкое к однородному.

Также часто соленоидами называют электромеханические исполнительные механизмы, обычно со втягиваемым ферромагнитным сердечником. В таком применении соленоид почти всегда снабжается внешним ферромагнитным магнитопроводом, обычно называемым ярмом.

Индуктивность соленоида выражается следующим образом:

$$L = \mu_0 n^2 V = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{z^2}{l},$$

где  $\mu_0$  — магнитная проницаемость вакуума,  $n = N/l$  — число витков на единицу длины соленоида,  $N$  — число витков,  $V = Sl$  — объём соленоида,  $z = \pi d N$  — длина проводника, намотанного на соленоид,  $S = \pi d^2/4$  — площадь поперечного сечения соленоида,  $l$  — длина соленоида,  $d$  — диаметр витка.

### 6. Работа по перемещению контура с током в магнитном поле.

На проводник с током в магнитном поле действуют силы, которые определяются с помощью закона Ампера. Если проводник не закреплен (например, одна из сторон контура сделана в виде подвижной перемычки, то под действием силы Ампера он в магнитном поле будет перемещаться. Значит, магнитное поле совершает работу по перемещению проводника с током.

$$dA = Id\Phi$$

Работа по перемещению проводника с током в магнитном поле равна произведению силы тока на магнитный поток, пересеченный движущимся проводником. Данная формула справедлива и для произвольного направления вектора  $B$ .

### 7. Энергия магнитного поля.

Магнитное поле обладает энергией. Подобно тому, как в заряженном конденсаторе имеется запас электрической энергии, в катушке, по виткам которой протекает ток, имеется запас магнитной энергии.

Если включить электрическую лампу параллельно катушке с большой индуктивностью в электрическую цепь постоянного тока, то при размыкании ключа наблюдается кратковременная вспышка лампы. Ток в цепи возникает под действием ЭДС самоиндукции. Источником энергии, выделяющейся при этом в электрической цепи, является магнитное поле катушки.

## 1.12 Лекция 12 (Л-12)

## Тема: «Гармонические колебания»

### 1.12.1 Вопросы лекции:

1. Идеальный гармонический осциллятор.
2. Уравнение идеального осциллятора и его решение.
3. Амплитуда, частота и фаза колебания. Энергия колебаний.
4. Примеры колебательных движений различной физической природы.
5. Свободные затухающие колебания осциллятора с потерями.
6. Вынужденные колебания.
7. Сложение колебаний (биения, фигуры Лиссажу).
8. Анализ и синтез колебаний, понятие о спектре колебаний.
9. Связанные колебания.

### 1.12.2 Краткое содержание вопросов

#### 1. 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.

#### 2. Уравнение идеального осциллятора и его решение.

$\ddot{x} + \omega_0^2 x = 0$ . Это дифференциальное уравнение описывает поведение консервативного гармонического осциллятора. Коэффициент  $\omega_0$  называют циклической частотой осциллятора. (имеется в виду круговая частота, измеряющаяся в радианах в секунду. Чтобы перевести её в частоту, выраженную в Герцах, надо разделить круговую частоту на  $2\pi$ )

Решение этого уравнения имеет вид:  $x(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$ .

Здесь  $A$  — амплитуда,  $\omega$  — частота колебаний,  $\varphi$  — начальная фаза.

#### 3. Амплитуда, частота и фаза колебания. Энергия колебаний.

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 совершены.

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

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.

#### 4. Примеры колебательных движений различной физической природы.

Колебательные движения бывают:

1. Механические (звук, вибрация)
2. Электромагнитные (свет, радиоволны, тепловые)
3. Смешанного типа — комбинации вышеперечисленных

#### 5. 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.

#### 6. Вынужденные колебания.

Вынужденные колебания — колебания, происходящие под воздействием внешних периодических сил

#### 7. Сложение колебаний (биения, фигуры Лиссажу).

Нередки случаи, когда система одновременно участвует в двух или нескольких независимых друг от друга колебаниях. В этих случаях образуется сложное колебательное движение, которое создается путем наложения (сложения) колебаний друг на друга. Случаи сложения колебаний могут быть весьма разнообразны. Они зависят не только от числа складываемых колебаний, но и от параметров колебаний, от их частот, фаз, амплитуд, направлений.

Биения — явление, возникающее при наложении двух периодических колебаний, например, гармонических, близких по частоте, выражющееся в периодическом уменьшении и увеличении амплитуды суммарного сигнала. Частота изменения амплитуды суммарного сигнала равна разности частот исходных сигналов.

Биения возникают от того, что один из двух сигналов линейно во времени отстает от другого по фазе, и, в те моменты, когда колебания происходят синфазно, суммарный сигнал оказывается максимален, а в те моменты, когда два сигнала оказываются в противофазе, они взаимно гасят друг друга. Эти моменты периодически сменяют друг друга по мере того, как нарастает отставание.

Биения звука можно слышать при настройке музыкальных инструментов, например, струнных по камертону. Если частота струны незначительно отличается от частоты камертонна, то слышно, что звук пульсирует — это и есть биения. Струну для настройки в унисон с камертоном нужно подтягивать или ослаблять так, чтобы частота биений уменьшалась. При совпадении высоты звука с эталонным биения полностью исчезают.

Эффект биений используется в электронике для вычитания частот сигналов.

Фигуры Лиссажу — замкнутые траектории, прорисовываемые точкой, совершающей одновременно два гармонических колебания в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Впервые изучены французским учёным Жюлем Антуаном Лиссажу. Вид фигуры зависит от соотношения между периодами (частотами), фазами и амплитудами обоих колебаний. В простейшем случае равенства обоих периодов фигуры представляют собой эллипсы, которые при разности фаз 0 или  $\pi$  вырождаются в отрезки прямых, а

при разности фаз  $\frac{\pi}{2}$  и равенстве амплитуд превращаются в окружность. Если периоды обоих колебаний неточно совпадают, то разность фаз всё время меняется, вследствие чего эллипс всё время деформируется. При существенно различных периодах фигуры Лиссажу не наблюдаются. Однако, если периоды относятся как целые числа, то через промежуток времени, равный наименьшему кратному обоих периодов, движущаяся точка снова возвращается в то же положение — получаются фигуры Лиссажу более сложной формы. Фигуры Лиссажу вписываются в прямоугольник, центр которого совпадает с началом координат, а стороны параллельны осям координат и расположены по обе стороны от них на расстояниях, равных амплитудам колебаний.

#### 8. Анализ и синтез колебаний, понятие о спектре колебаний.

Гармоническим синтезом называют получение колебаний сложной формы путем суммирования их гармонических составляющих (гармоник).

Спектром временной зависимости (функции)  $f(t)$  называется совокупность ее гармонических составляющих, образующих ряд Фурье.

Спектральный анализ периодических функций заключается в нахождении амплитуды и фазы гармоник (косинусоид) ряда Фурье. Задача, обратная спектральному анализу, называется спектральным синтезом.

Под фильтрацией подразумевается выделение полезного сигнала из его смеси с мешающим сигналом (шумом). Наиболее распространенный тип фильтрации — частотная фильтрация. Если известна область частот, занимаемых полезным сигналом, достаточно выделить эту область и подавить те области, которые заняты шумом.

Обертона называется любая собственная частота выше первой, самой низкой ( основной тон ), а те обертоны, частоты которых относятся к частоте основного тона как целые числа, называются гармониками , причем основной тон считается первой гармоникой.

Если звук содержит в своем спектре только гармоники, то их сумма является периодическим процессом и звук дает четкое ощущение высоты. При этом субъективно ощущаемая высота звука соответствует наименьшему общему кратному частот гармоник.

Совокупность обертонов, составляющих сложный звук, называют спектром этого звука.

Разложение сложного звука на простейшие составляющие называют спектральным анализом, осуществляемым с помощью математического преобразования Фурье.

Любой сложный периодический звуковой сигнал может быть представлен в виде суммы простых гармонических сигналов с соответствующими амплитудами и фазами. Совокупность всех амплитуд на шкале частот называется амплитудным спектром, совокупность всех фаз — фазовым спектром. При этом, несмотря на то, что ряд Фурье может быть бесконечным, предлагаемая им форма записи оказывается очень удобной при проведении анализа и обработки.

#### 9. Связанные колебания.

Связанные колебания — свободные колебания связанных систем, состоящих из взаимодействующих одиночных колебательных систем.

Связанные колебательные системы влияют друг на друга. Колебания таких систем уже не будут независимы, поскольку системы обмениваются энергией. Связь может быть обусловлена: упругостью, трением, инерцией.

Если одной из систем сообщили энергию и она совершает колебательное движение, то постепенно она передает свою энергию второй системе. Скорость передачи энергии зависит от того, насколько сильна связь.

### 1.13 Лекция 13 (Л-13) (2 часа)

**Тема:** «Волны»

#### 1.13.1 Вопросы лекции:

1. Волновое движение.
2. Плоская гармоническая волна.
3. Длина волны, волновое число, фазовая скорость.
4. Уравнение волны. Одномерное волновое уравнение.
5. Упругие волны в газах, жидкостях и твердых телах.
6. Эффект Доплера.

#### 1.13.2 Краткое содержание вопросов

1. Волновое движение.

Волновой процесс (волна) — это процесс распространения колебаний в сплошной среде.

2. Плоская гармоническая волна.

Гармоническая волна — волна, при которой каждая точка колеблющейся среды или поле в каждой точке пространства совершают гармонические колебания.

3. Длина волны, волновое число, фазовая скорость.

Длина волны — расстояние между двумя ближайшими друг к другу точками в пространстве, в которых колебания происходят в одинаковой фазе.

Волновое число — это отношение  $2\pi$  радиан к длине волны: пространственный аналог круговой частоты

Фазовая скорость — скорость перемещения точки, обладающей постоянной фазой колебательного движения в пространстве, вдоль заданного направления.

4. Уравнение волны. Одномерное волновое уравнение.

Волновое уравнение — линейное гиперболическое дифференциальное уравнение в частных производных, задающее малые поперечные колебания тонкой мембранны или струны, а также другие колебательные процессы в сплошных средах (акустика, преимущественно линейная: звук в газах, жидкостях и твёрдых телах) и электромагнетизме (электродинамике). Находит применение и в других областях теоретической физики, например при описании гравитационных волн. Является одним из основных уравнений математической физики.

5. Упругие волны в газах, жидкостях и твердых телах.

Упругие волны — упругие возмущения, распространяющиеся в твёрдой, жидкой и газообразных средах, например, волны, возникающие в земной коре при землетрясениях, звуковые и ультразвуковые волны в жидкостях, газах и твёрдых телах. При распространении упругой волны в среде возникают механические деформации сжатия и сдвига, которые переносятся волной из одной точки среды в другую. При этом имеет место перенос энергии упругой деформации в отсутствие потока вещества (исключая особые случаи, например акустические течения). Всякая гармоническая упругая волна характеризуется амплитудой колебательного смещения частиц среды и его направлением, колебательной скоростью частиц, переменным механическим напряжением и деформацией, частотой колебаний частиц среды, длиной волны, фазовой и групповой скоростями, а также законом распределения смещений и напряжений по фронту волны.

В жидкостях и газах, которые обладают упругостью объёма, но не обладают упругостью формы, могут распространяться лишь продольные волны разрежения-сжатия, где колебания частиц среды происходят в направлении распространения волны.

6. Эффект Доплера

Эффект Доплера — изменение частоты и, соответственно, длины волны излучения, воспринимаемое наблюдателем (приёмником), вследствие движения источника излучения и/или движения наблюдателя (приёмника). Эффект назван в честь австрийского физика Кристиана Доплера.

### 1.14 Лекция 14 (Л-14) (2 часа)

**Тема:** «Волновая оптика»

#### 1.14.1 Вопросы лекции:

1. Интерференция.
2. Дифракция.
3. Поляризация.
4. Дисперсия.

#### 1.14.2 Краткое содержание вопросов

1. Интерференция.

Если в некоторой однородной и изотропной среде два точечных источника возбуждают сферические волны, то в произвольной точке пространства может происходить наложение волн в соответствии с

принципом суперпозиции (наложения): каждая точка среды, куда приходят две или несколько волн, принимает участие в колебаниях, вызванных каждой волной в отдельности. Таким образом волны не взаимодействуют друг с другом и распространяются независимо друг от друга.

Интерференция волн — взаимное увеличение или уменьшение результирующей амплитуды двух или нескольких когерентных волн при их наложении друг на друга. Она сопровождается чередованием максимумов (пучностей) и минимумов (узлов) интенсивности в пространстве. Результат интерференции (интерференционная картина) зависит от разности фаз накладывающихся волн.

Интерферировать могут все волны, однако устойчивая интерференционная картина будет наблюдаться только в том случае, если волны имеют одинаковую частоту и колебания в них не ортогональны. Интерференция может быть стационарной и нестационарной. Стационарную интерференционную картину могут давать только полностью когерентные волны. Например, две сферические волны на поверхности воды, распространяющиеся от двух когерентных точечных источников, при интерференции дадут результирующую волну, фронтом которой будет сфера.

При интерференции энергия волн перераспределяется в пространстве. Это не противоречит закону сохранения энергии потому, что в среднем, для большой области пространства, энергия результирующей волны равна сумме энергий интерферирующих волн.

#### 4. Дифракция.

Дифракция волн — явление, которое проявляет себя, как отклонение от законов геометрической оптики при распространении волн. Она представляет собой универсальное волновое явление и характеризуется одними и теми же законами при наблюдении волновых полей разной природы.

Так, именно явлением дифракции задаётся предел разрешающей способности любого оптического прибора, создающего изображение, который невозможно преступить принципиально при заданной ширине спектра излучения, используемого для построения изображения.

Изначально явление дифракции трактовалось как огибание волной препятствия, то есть проникновение волны в область геометрической тени. С точки зрения современной науки определение дифракции как огибания светом препятствия признается недостаточным (слишком узким) и не вполне адекватным. Так, с дифракцией связывают весьма широкий круг явлений, возникающих при распространении волн (в случае учёта их пространственного ограничения) в неоднородных средах.

Дифракция волн может проявляться:

- в преобразовании пространственной структуры волн. В одних случаях такое преобразование можно рассматривать как «огибание» волнами препятствий, в других случаях — как расширение угла распространения волновых пучков или их отклонение в определённом направлении;

- в разложении волн по их частотному спектру;
- в преобразовании поляризации волн;
- в изменении фазовой структуры волн.

Наиболее хорошо изучена дифракция электромагнитных (в частности, оптических) и акустических волн, а также гравитационно-капиллярных волн (волны на поверхности жидкости).

#### 3. Поляризация.

Поляризованным называется свет, в котором направления колебаний светового вектора упорядочены каким-либо образом. В естественном свете колебания различных направлений быстро и беспорядочно сменяют друг друга.

Плоскополяризованный свет можно получить из естественного с помощью поляризаторов. Это приборы, которые свободно пропускают колебания, параллельные плоскости поляризатора, и полностью или частично задерживают колебания, перпендикулярные его плоскости. Поляризатор, частично задерживающий перпендикулярные к его плоскости колебания, называют несовершенным. При выходе из такого поляризатора колебания одного направления преобладают над колебаниями других направлений в световой волне. Такой свет называют частично поляризованным.

#### 4. Дисперсия.

Электромагнитные волны могут распространяться не только в пустоте, но и в различных средах. Но только в вакууме скорость распространения волн постоянна и не зависит от частоты. Во всех остальных средах скорости распространения волн различной частоты неодинаковы. Так как абсолютный показатель преломления зависит от скорости света в веществе, то экспериментально наблюдается зависимость показателя преломления от длины волны — дисперсия света.

Поглощение электромагнитного излучения — процесс потери энергии потоком электромагнитного излучения вследствие взаимодействия с веществом.

### 1.15 Лекция 15 (Л-15) (2 часа)

Тема: «Квантовая физика»

#### 1.15.1 Вопросы лекции:

1. Квантовые свойства электромагнитного излучения.
2. Тепловое излучение и люминесценция.
3. Спектральные характеристики теплового излучения.

4. Законы Кирхгофа, Стефана-Больцмана и закон смещения Вина.
5. Абсолютно черное тело.
6. Формула Релея-Джинса и «ультрафиолетовая катастрофа». Гипотеза квантов. Формула Планка.
7. Квантовое объяснение законов теплового излучения.
8. Корпускулярно-волновой дуализм света.

### 1.15.2 Краткое содержание вопросов

#### 1. Квантовые свойства электромагнитного излучения

К квантовым свойствам электромагнитного излучения относятся: фотоэффект, эффект Комптона, дифракция электронов.

#### 2. 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 высыпыванием.

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).

#### 3. Спектральные характеристики теплового излучения.

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

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

#### 4. 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.

#### 5. Абсолютно черное тело

Абсолютно чёрное тело — физическое тело, которое при любой температуре поглощает всё падающее на него электромагнитное излучение во всех диапазонах. Таким образом, для абсолютно чёрного тела поглощательная способность (отношение поглощённой энергии к энергии падающего излучения) равна 1 при излучениях всех частот, направлений распространения и поляризаций.

Несмотря на название, абсолютно чёрное тело само может испускать электромагнитное излучение любой частоты и визуально иметь цвет. Спектр излучения абсолютно чёрного тела определяется только его температурой.

#### 6. Формула Релея-Джинса и «ультрафиолетовая катастрофа». Гипотеза квантов. Формула Планка

Закон Рэля — 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.

Гипотеза Планка — гипотеза, выдвинутая 14 декабря 1900 года Максом Планком и заключающаяся в том, что при тепловом излучении энергия испускается и поглощается не непрерывно, а отдельными квантами (порциями).

Формула Планка — выражение для спектральной плотности мощности излучения (спектральной плотности энергетической светимости) абсолютно чёрного тела, которое было получено Максом Планком

$$u(\omega, T) = \frac{\omega^2}{\pi^2 c^3} \frac{\hbar \omega}{e^{\frac{\hbar \omega}{kT}} - 1}$$

для плотности энергии излучения

Формула Планка («форма» зависимости  $u$  от частоты и температуры) первоначально была «выведена» эмпирически. Формула Планка была получена после того, как стало ясно, что формула Рэлея—Джинса, которая следует из классической теории электромагнитного поля, удовлетворительно описывает излучение только в области длинных волн. С убыванием длин волн формула Рэлея—Джинса сильно расходится с эмпирическими данными. Более того, в пределе она даёт расхождение — бесконечную энергию излучения (ультрафиолетовая катастрофа). В связи с этим Планк в 1900 году сделал предположение, противоречащее классической физике, о том, что электромагнитное излучение испускается в виде отдельных порций энергии (квантов), величина которых связана с частотой излучения выражением:

$$\epsilon = \hbar \omega$$

Коэффициент пропорциональности  $\hbar$  впоследствии назвали постоянной Планка. Это предположение позволило объяснить наблюдаемый спектр излучения теоретически.

## 7. Квантовое объяснение законов теплового излучения

Правильность формулы Планка подтверждается не только непосредственной эмпирической проверкой, но и следствиями из данной формулы, в частности из неё следует закон Стефана-Больцмана, также эмпирически подтверждённый. Кроме того, из неё выводятся также и приблизительные формулы, полученные до формулы Планка, — формула Вина и формула Рэлея-Джинса.

## 8. 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 Гранже, 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.

## 1.16 Лекция 16 (Л-16) (2 часа)

Тема: «Ядерная физика»

### 1.16.1 Вопросы лекции:

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

Синтез ядер.

4. Детектирование ядерных излучений. Понятие о дозиметрии и защите.

### 1.16.2 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 нейтрон обладают собственным моментом количества движения (спином), равным  $\hbar/2 = \hbar/4\pi$  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:

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

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. Ядерные реакции. Деление ядер. Синтез ядер.

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 нейтрено или антинейтрено). 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 нейтрено, 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-свинцовый метод, уран-гелиевый метод, калий-аргоновый метод и др.

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 реакцией.

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.

#### 4. Детектирование ядерных излучений. Понятие о дозиметрии и защите.

Детектирование любого вида излучения сводится в итоге к детектированию заряженных частиц и основано на регистрации эффектов, вызываемых заряженной частицей при ее прохождении через вещество, проявляющихся вблизи траектории частицы и в начальный момент локализованных в области, размеры которой соизмеримы с межатомными расстояниями. Эффекты, которые можно регистрировать, разделяются на две группы: первая — это ионизация и возбуждение вещества в треке частицы, вторая — это излучения различной природы (излучение Вавилова — Черенкова, звук, тормозное излучение и т. п.), генерируемые частицей и выходящие из трека и, возможно, из объема детектора.

Дозиметрия — область прикладной физики, в которой изучаются физические величины, характеризующие действие ионизирующих излучений на объекты живой и неживой природы, в частности дозы излучения, а также методы и приборы для измерения этих величин.

Развитие дозиметрии. первоначально определялось необходимостью защиты человека от ионизирующих излучений. Вскоре после открытия рентгеновских лучей были замечены биологические эффекты, возникающие при облучении человека. Появилась необходимость в количественной оценке степени радиационной опасности. В качестве основного количественного критерия была принята экспозиционная доза, измеряемая в Рентгенах и определяемая по величине ионизации воздуха.

## 2. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ

### ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Не предусмотрено РУП

## 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

### 3.1 Практическое занятие № 1 (2 часа).

**Тема:** «Физические величины, их измерение и оценка погрешностей»

#### 3.1.1 Задание для работы:

1. Физика в системе естественных наук.
2. Общая структура и задачи дисциплины «Физика».
3. Краткая история физических идей, концепций и открытий.
4. Классическая и неклассическая физика.
5. Физика и научно-технический прогресс.
6. Экспериментальная и теоретическая физика.
7. Физические величины, измерение физических величин.

8. Погрешность измерений. Систематические и случайные погрешности.
9. Абсолютная и относительная погрешность. Погрешности косвенных измерений.
10. Системы единиц физических величин. Международная система единиц (СИ).

### **3.1.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Беседа по вопросам занятия; решение задач по теме занятия.

### **3.1.3 Результаты и выводы:**

Усвоено место физики в системе естественных наук. Изучен основной материал о физических величинах и их измерении.

## **3.2 Практическое занятие № 2 (2 часа).**

**Тема:** «Кинематика поступательного и вращательного движения»

### **3.2.1 Задание для работы:**

1. Системы координат.
2. Система отсчета.
3. Основные кинематические характеристики криволинейного движения: скорость и ускорение.
4. Нормальное и тангенциальное ускорение.
5. Кинематика вращательного движения: угловая скорость и угловое ускорение, их связь с линейной скоростью и ускорением.

### **3.2.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Беседа по вопросам занятия; решение задач по теме занятия.

### **3.2.3 Результаты и выводы:**

Усвоены понятия, определения и законы кинематики поступательного и вращательного движения.

## **3.3 Практическое занятие № 3 (2 часа).**

**Тема:** «Динамика поступательного и вращательного движения»

### **3.3.1 Задание для работы:**

1. Инерциальные системы отсчета.
2. Неинерциальные системы отсчета.
3. Первый закон Ньютона.
4. Масса.
5. Сила.
6. Второй закон Ньютона.
7. Третий закон Ньютона.
8. Момент инерции, теорема Штейнера.
9. Момент силы.
10. Уравнение вращения твердого тела вокруг закрепленной оси.

### **3.3.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Беседа по вопросам занятия; решение задач по теме занятия.

### **3.3.3 Результаты и выводы:**

Усвоены понятия, определения и законы динамики поступательного и вращательного движения.

## **3.4 Практическое занятие № 4 (2 часа).**

**Тема: «Законы сохранения»**

**3.4.1 Задание для работы:**

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

**3.4.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Беседа по вопросам занятия; решение задач по теме занятия.

**3.4.3 Результаты и выводы:**

Законы сохранения играют очень важную роль в физике и науках, т.к. говорят о величинах, значение которых сохраняется (не изменяется) с течением времени. Также законы сохранения относятся к тем немногим законам, которые практически не имеют границ применимости.

**3.5 Практическое занятие № 5 (2 часа).**

**Тема: «Элементы механики сплошных сред»**

**3.5.1 Задание для работы:**

1. Общие свойства жидкостей и газов.
2. Стационарное течение идеальной жидкости.
3. Уравнение Бернулли.
4. Упругие напряжения и деформации в твердом теле.
5. Закон Гука.
6. Модуль Юнга.
7. Коэффициент Пуассона.

**3.5.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Беседа по вопросам занятия; решение задач по теме занятия.

**3.5.3 Результаты и выводы:**

Усвоены понятия, определения и законы течения жидкостей и деформация в твердых телах.

**3.6 Практическое занятие № 6 (2 часа).**

**Тема: «Молекулярно-кинетическая теория (МКТ)»**

**3.6.1 Задание для работы:**

1. Основные положения МКТ.
2. Давление газа с точки зрения МКТ.
3. Распределение Максвелла молекул идеального газа.
4. Экспериментальное обоснование распределения Максвелла.

**3.6.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Беседа по вопросам занятия; решение задач по теме занятия.

**3.6.3 Результаты и выводы:**

Усвоены понятия, определения и законы молекулярно-кинетической теории.

### **3.7 Практическое занятие № 7 (2 часа).**

**Тема:** «Феноменологическая термодинамика»

#### **3.7.1 Задание для работы:**

1. Термодинамическое равновесие и температура. Нулевое начало термодинамики.
2. Эмпирическая температурная шкала.
3. Уравнение состояния в термодинамике.
4. Квазистатические процессы. Обратимые и необратимые процессы.
5. Первое начало термодинамики.
6. Теплоемкость. Уравнение Майера. Связь теплоемкости с числом степеней свободы молекул газа.
7. Преобразование теплоты в механическую работу.
8. Цикл Карно и его коэффициент полезного действия.
9. Энтропия.

#### **3.7.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Беседа по вопросам занятия; решение задач по теме занятия.

#### **3.7.3 Результаты и выводы:**

Усвоены понятия, определения и законы термодинамики.

### **3.8 Практическое занятие № 8 (2 часа).**

**Тема:** «Электростатика»

#### **3.8.1 Задание для работы:**

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.

#### **3.8.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Беседа по вопросам занятия; решение задач по теме занятия.

#### **3.8.3 Результаты и выводы:**

Усвоены понятия, определения и законы электростатики.

### **3.9 Практическое занятие № 9 (2 часа).**

**Тема:** «Постоянный электрический ток»

#### **3.9.1 Задание для работы:**

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.

#### **3.9.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Беседа по вопросам занятия; решение задач по теме занятия.

### **3.9.3 Результаты и выводы:**

Усвоены понятия, определения и законы электрического тока.

## **3.10 Практическое занятие № 10 (2 часа).**

**Тема:** «Магнитостатика»

### **3.10.1 Задание для работы:**

1. Магнитное взаимодействие постоянных токов.
2. Вектор магнитной индукции.
3. Закон Ампера.
4. Сила Лоренца.
5. Движение зарядов в электрических и магнитных полях.
6. Закон Био-Савара-Лапласа.
7. Теорема о циркуляции (закон полного тока).

### **3.10.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Беседа по вопросам занятия; решение задач по теме занятия.

### **3.10.3 Результаты и выводы:**

Усвоены понятия, определения и законы магнитного поля.

## **3.11 Практическое занятие № 11 (2 часа).**

**Тема:** «Электромагнитная индукция»

### **3.11.1 Задание для работы:**

1. Феноменология электромагнитной индукции.
2. Правило Ленца.
3. Уравнение электромагнитной индукции.
4. Самоиндукция.
5. Индуктивность соленоида.
6. Работа по перемещению контура с током в магнитном поле.
7. Энергия магнитного поля.

### **3.11.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Беседа по вопросам занятия; решение задач по теме занятия.

### **3.11.3 Результаты и выводы:**

Усвоены понятия, определения и законы явления электромагнитной индукции.

## **3.12 Практическое занятие № 12 (2 часа).**

**Тема:** «Гармонические колебания»

### **3.12.1 Задание для работы:**

1. Идеальный гармонический осциллятор.
2. Уравнение идеального осциллятора и его решение.
3. Амплитуда, частота и фаза колебания. Энергия колебаний.
4. Примеры колебательных движений различной физической природы.
5. Свободные затухающие колебания осциллятора с потерями.
6. Вынужденные колебания.

7. Сложение колебаний (биения, фигуры Лиссажу).
8. Анализ и синтез колебаний, понятие о спектре колебаний.
9. Связанные колебания.

### **3.12.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Беседа по вопросам занятия; решение задач по теме занятия.

### **3.12.3 Результаты и выводы:**

Усвоены понятия, определения и законы колебательного движения.

## **3.13 Практическое занятие № 13 (2 часа).**

**Тема:** «Волны»

### **3.13.1 Задание для работы:**

1. Волновое движение.
2. Плоская гармоническая волны.
3. Длина волны, волновое число, фазовая скорость.
4. Уравнение волны. Одномерное волновое уравнение.
5. Упругие волны в газах, жидкостях и твердых телах.
6. Эффект Доплера.

### **3.13.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Беседа по вопросам занятия; решение задач по теме занятия.

### **3.13.3 Результаты и выводы:**

Усвоены понятия, определения и законы волнового движения.

## **3.14 Практическое занятие № 14 (2 часа).**

**Тема:** «Волновая оптика»

### **3.14.1 Задание для работы:**

1. Интерференция.
2. Дифракция.
3. Поляризация.
4. Дисперсия.

### **3.14.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Беседа по вопросам занятия; решение задач по теме занятия.

### **3.14.3 Результаты и выводы:**

Усвоены понятия, определения и законы волновой оптики.

## **3.15 Практическое занятие № 15 (2 часа).**

**Тема:** «Квантовая физика»

### **3.15.1 Задание для работы:**

1. Квантовые свойства электромагнитного излучения.
2. Тепловое излучение и люминесценция.
3. Спектральные характеристики теплового излучения.
4. Законы Кирхгофа, Стефана-Больцмана и закон смещения Вина.
5. Абсолютно черное тело.
6. Формула Релея-Джинса и «ультрафиолетовая катастрофа». Гипотеза квантов. Формула Планка.
7. Квантовое объяснение законов теплового излучения.
8. Корпускулярно-волновой дуализм света.

**3.15.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Беседа по вопросам занятия; решение задач по теме занятия.

**3.15.3 Результаты и выводы:**

Рассмотрены основные закономерности теплового излучения

**3.16 Практическое занятие № 16 (2 часа).**

**Тема:** «Ядерная физика»

**3.16.1 Задание для работы:**

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.

**3.16.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Беседа по вопросам занятия; решение задач по теме занятия.

**3.16.3 Результаты и выводы:**

Рассмотрены процессы, происходящие в атомном ядре

**3.17 Практическое занятие № 17 (2 часа).**

**Тема:** «Физическая картина мира»

**3.17.1 Задание для работы:**

1. Особенности классической и неклассической физики.
2. Методология современных научно-исследовательских программ в области физики.
3. Основные достижения и проблемы субъядерной физики.
4. Попытки объединения фундаментальных взаимодействий и создания «теории всего».
5. Современные космологические представления.

**3.17.2 Краткое описание проводимого занятия:**

Беседа по вопросам занятия; решение задач по теме занятия.

**3.17.3 Результаты и выводы:**

Рассмотрены различные научные подходы, использующиеся в физике

**4. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ****ПО ПРОВЕДЕНИЮ СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ**

**Не предусмотрено РУП**