

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

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.Б.08 Физика

Направление подготовки 21.03.02 «Землеустройство и кадастры»

Профиль подготовки Землеустройство

Форма обучения очная

СОДЕРЖАНИЕ

1. Конспект лекций

1.1 Лекция № 1 *Введение*

1.2 Лекция № 2 *Кинематика поступательного и вращательного движений*

1.3 Лекция № 3 *Динамика поступательного и вращательного движения*

1.4 Лекция № 4 *Законы сохранения*

1.5 Лекция № 5 *Механика сплошных сред*

1.6 Лекция № 6 *Релятивистская механика*

1.7 Лекция № 7 *Молекулярная физика*

1.8 Лекция № 8 *Элементы физической кинетики*

1.9 Лекция № 9 *Термодинамика*

1.10 Лекция № 10 *Электростатика*

1.11 Лекция № 11 *Проводники в электрическом поле*

1.12 Лекция № 12 *Диэлектрики в электрическом поле*

1.13 Лекция № 13 *Постоянный электрический ток*

1.14 Лекция № 14 *Магнитостатика*

1.15 Лекция № 15 *Магнитное поле в веществе*

1.16 Лекция № 16 *Электромагнитная индукция*

1.17 Лекция № 17 *Уравнения Максвелла*

1.18 Лекция № 18 *Электромагнитные колебания*

1.19 Лекция № 19 *Гармонические колебания*

1.20 Лекция № 20 *Волны*

1.21 Лекция № 21 *Интерференция и дифракция волн*

1.22 Лекция № 22 *Поляризация и дисперсия волн*

1.23 Лекция № 23 *Квантовые свойства электромагнитного излучения*

1.24 Лекция № 24 *Элементы квантовой механики*

1.25 Лекция № 25 *Квантово-механическое описание атомов*

1.26 Лекция № 26 *Элементы квантовой микрофизики*

1.27 Лекция № 27 *Элементарные частицы*

2. Методические указания по выполнению лабораторных работ

2.1 Лабораторная работа № ЛР-1 *Введение. Физические величины, их измерение и оценка погрешностей*

2.2 Лабораторная работа № ЛР-2 *Определение плотности тел правильной геометрической формы*

- 2.3 Лабораторная работа № ЛР-3** *Определение момента инерции шатуна*
- 2.4 Лабораторная работа № ЛР-4** *Определение момента инерции диска*
- 2.5 Лабораторная работа № ЛР-5** *Изучение закона сохранения и превращения энергии при движении тела по наклонной плоскости*
- 2.6 Лабораторная работа № ЛР-6** *Изучение деформаций тел*
- 2.7 Лабораторная работа № ЛР-7** *Определение коэффициента вязкости жидкостей методом Стокса*
- 2.8 Лабораторная работа № ЛР-8** *Определение влажности воздуха психрометром*
- 2.9 Лабораторная работа № ЛР-9** *Определение коэффициента теплового расширения металлов*
- 2.10 Лабораторная работа № ЛР-10** *Техника безопасности при работе с электрическими цепями*
- 2.11 Лабораторная работа № ЛР-11** *Правила сборки электрических цепей. Электроизмерительные приборы*
- 2.12 Лабораторная работа № ЛР-12** *Определение емкости конденсатора баллистическим гальванометром*
- 2.13 Лабораторная работа № ЛР-13** *Последовательное и параллельное соединение проводников*
- 2.14 Лабораторная работа № ЛР-14** *Измерение сопротивления с помощью моста Уитстона*
- 2.15 Лабораторная работа № ЛР-15** *Изучение зависимости сопротивления лампы накаливания от температуры*
- 2.16 Лабораторная работа № ЛР-16** *Полупроводниковые выпрямители*
- 2.17 Лабораторная работа № ЛР-17** *Измерение индукции магнитного поля постоянного магнита*
- 2.18 Лабораторная работа № ЛР-18** *Электромагнитные колебания и волны*
- 2.19 Лабораторная работа № ЛР-19** *Свободные механические колебания*
- 2.20 Лабораторная работа № ЛР-20** *Изучение микроскопа*
- 2.21 Лабораторная работа № ЛР-21** *Изучение интерференции*
- 2.22 Лабораторная работа № ЛР-22** *Изучение дифракции*
- 2.23 Лабораторная работа № ЛР-23** *Внешний фотоэффект*
- 2.24 Лабораторная работа № ЛР-24** *Эффект Комптона*
- 2.25 Лабораторная работа № ЛР-25** *Прохождение электромагнитного излучения через вещество*
- 2.26 Лабораторная работа № ЛР-26** *Спектр излучения водорода*

2.27 Лабораторная работа № ЛР-27 Ядра атомов

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1.1 Лекция № 1 (2 часа)

Тема: «Введение»

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Физика в системе естественных наук.
2. Общая структура и задачи дисциплины «Физика».
3. Экспериментальная и теоретическая физика.
4. Системы единиц физических величин.

1.1.2 Краткое содержание вопросов

1. Физика в системе естественных наук.

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

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

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

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

2. Общая структура и задачи дисциплины «Физика».

Дисциплина «физика» состоит из следующих модулей:

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

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

3. Экспериментальная и теоретическая физика.

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

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

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

При изучении любого явления экспериментальные и теоретические аспекты одинаково важны.

4. Системы единиц физических величин

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

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

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

тремя основными, Гаусс назвал абсолютной системой. За основные единицы он принял миллиметр, миллиграмм и секунду.

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

1.2 Лекция № 2 (2 часа)

Тема: «Кинематика поступательного и вращательного движений»

1.2.1 Вопросы лекции:

1. Система отсчета.
2. Основные кинематические характеристики криволинейного движения: скорость и ускорение.
3. Нормальное и тангенциальное ускорение.
4. Угловая скорость.
5. Угловое ускорение.
6. Связь линейных величин с угловыми.
7. Аналогия кинематики поступательного и вращательного движения.

1.2.2 Краткое содержание вопросов

1. Система отсчета

Система отсчёта — это совокупность тела отсчёта, системы координат и системы отсчёта времени, связанных с этим телом, по отношению к которому изучается движение (или равновесие) каких-нибудь других материальных точек или тел.

Математически движение тела (или материальной точки) по отношению к выбранной системе отсчёта описывается уравнениями, которые устанавливают, как изменяются с течением времени t координаты, определяющие положение тела (точки) в этой системе отсчёта. Эти уравнения называются уравнениями движения.

Любое движение является относительным, и движение тела следует рассматривать лишь по отношению к какому-либо другому телу (телу отсчёта) или системе тел.

2. 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.

3. 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, поделённому 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).

4. Угловая скорость.

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.

5. Угловое ускорение.

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

6. Связь линейных величин с угловыми.

Равномерное движение

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

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

Неравномерное движение

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

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

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

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

7. Аналогия кинематики поступательного и вращательного движения.

Линейные величины

Путь

Линейная скорость

Линейное ускорение

Угловые величины

Угол поворота

Угловая скорость

Угловое ускорение

1.3 Лекция № 3 (2 часа)

Тема: «Динамика поступательного и вращательного движения»

1.3.1 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.
8. Аналогия динамики поступательного и вращательного движения.

1.3.2 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 тело 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, вращающий 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 твёрдого тела вокруг закреплённой оси.

Угловое ускорение твёрдого 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.

8. Аналогия динамики поступательного и вращательного движения.

Динамика поступательного движения

Масса
Сила
Импульс

Динамика вращательного движения

Момент инерции
Момент силы
Момент импульса

1.4 Лекция № 4 (2 часа)

Тема: «Законы сохранения»

1.4.1 Вопросы лекции:

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

1.4.2 Краткое содержание вопросов

1. Импульс

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

2. Закон сохранения импульса

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

3. Момент импульса

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

4. Закон сохранения момента импульса

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

5. Работа

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

6. Энергия

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

7. Закон сохранения энергии

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

1.5 Лекция № 5 (2 часа)

Тема: «Механика сплошных сред»

1.5.1 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.

1.5.2 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.

$$\frac{\rho v_1^2}{2} + \rho g h_1 + p_1 = \frac{\rho v_2^2}{2} + \rho g h_2 + p_2$$

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.

1.6 Лекция 6 (Л-6) (2 часа)

Тема: «Релятивистская механика»

1.6.1 Вопросы лекции:

1. Принцип относительности и преобразования Галилея.
2. Экспериментальные обоснования специальной теории относительности (СТО).
3. Постулаты СТО.
4. Относительность одновременности и преобразования Лоренца.
5. Сокращение длины и замедление времени в движущихся системах отсчета.
6. Релятивистский импульс.
7. Взаимосвязь массы и энергии. СТО и ядерная энергетика.

1.6.2 Краткое содержание вопросов

1. Принцип относительности и преобразования Галилея.

Принцип относительности (принцип относительности Эйнштейна) — фундаментальный физический принцип, один из принципов симметрии, согласно которому все физические процессы в инерциальных системах отсчёта протекают одинаково, независимо от того, неподвижна ли система или она находится в состоянии равномерного и прямолинейного движения.

Преобразования Галилея — в классической механике (механике Ньютона) и нерелятивистской квантовой механике преобразования координат и скорости при переходе от одной инерциальной системы отсчета (ИСО) к другой. Преобразования Галилея опираются на принцип относительности Галилея, который подразумевает одинаковость времени во всех системах отсчета.

Преобразования Галилея являются предельным (частным) случаем преобразований Лоренца для скоростей, малых по сравнению со скоростью света в пустоте и в ограниченном объёме пространства.

Требование (постулат) принципа относительности вместе с преобразованиями Галилея, представляющимися достаточно интуитивно очевидными, можно считать во многом определяющим структуру ньютоновской механики. Вместе же с такими дополнительными идеями, как симметрия пространства и принцип суперпозиции в том или ином виде (утверждающий эквивалентность взаимодействия многих тел в малый промежуток времени композиции воображаемых последовательных попарных взаимодействий этих тел), преобразования Галилея могут быть практически достаточным основанием для формулировки ньютоновской механики (вывода ее основных законов).

2. Экспериментальные обоснования специальной теории относительности (СТО).

Справедливость теории относительности, как и любой другой физической теории, в конечном счёте, проверяется эмпирически. Специальная теория относительности лежит в основе всей современной физики. Поэтому какого-либо отдельного эксперимента, «доказывающего» СТО, нет. Вся совокупность экспериментальных данных в физике высоких энергий, ядерной физике, спектроскопии, астрофизике, электродинамике и других областях физики согласуется с теорией относительности в пределах точности эксперимента.

Фактически СТО является инженерной наукой. Её формулы используются при расчёте ускорителей элементарных частиц. Обработка огромных массивов данных по столкновению частиц, двигающихся с релятивистскими скоростями в электромагнитных полях, основана на законах релятивистской динамики, отклонения от которых обнаружено не было. Поправки, следующие из СТО и ОТО, используются в системах спутниковой навигации (GPS, ГЛОНАСС). СТО лежит в основе ядерной энергетики и т. д.

Всё это не означает, что СТО не имеет пределов применимости. Напротив, как и в любой другой теории, они существуют, и их выявление является важной задачей экспериментальной физики. Например, в теории гравитации Эйнштейна (ОТО) рассматривается обобщение псевдоевклидова пространства СТО на случай пространства-времени, обладающего кривизной, что позволяет объяснить большую часть астрофизических и космологических наблюдаемых данных. Однако необходимо понимать, что если они будут обнаружены, то приведут к более общим теориям, предельным случаем которых снова будет СТО. Точно так же при малых скоростях верной остаётся классическая механика, являющаяся частным случаем теории относительности. Вообще, в силу принципа соответствия, теория, получившая многочисленные экспериментальные подтверждения, не может оказаться неверной, хотя область её применимости может быть ограничена.

Ниже приведены только некоторые эффекты, иллюстрирующие справедливость СТО и её отдельных положений:

1. Релятивистское замедление времени
2. Независимость скорости света от движения источника
3. Постулаты СТО.

Постулат 1 (принцип относительности Эйнштейна). Любое физическое явление протекает одинаково во всех инерциальных системах отсчёта. Это означает, что форма зависимости физических законов от пространственно-временных координат должна быть одинаковой во всех ИСО, то есть законы инвариантны относительно переходов между ИСО. Принцип относительности устанавливает равноправие всех ИСО.

Постулат 2 (принцип постоянства скорости света). Скорость света в «покоящейся» системе отсчёта не зависит от скорости источника.

4. Относительность одновременности и преобразования Лоренца.

Промежутки времени в неподвижной и движущейся системах отсчёта неэквивалентны между собой. Относительность одновременности приводит к невозможности синхронизации часов в различных инерциальных системах отсчёта во всём пространстве.

Преобразования Лоренца — линейные преобразования векторного псевдоевклидова пространства, сохраняющие длины или, что эквивалентно, скалярное произведение векторов.

5. Сокращение длины и замедление времени в движущихся системах отсчёта.

Если длину (форму) движущегося объекта определять при помощи одновременной фиксации координат его поверхности, то из преобразований Лоренца следует, что линейные размеры такого тела относительно «неподвижной» системы отсчёта сокращаются.

Под релятивистским замедлением времени обычно подразумевают кинематический эффект специальной теории относительности, заключающийся в том, что в движущемся теле все физические процессы проходят медленнее, чем следовало бы для неподвижного тела по отсчётам времени неподвижной системы отсчёта.

6. Релятивистский импульс.

При приближении скорости тела к скорости света его энергия и импульс стремятся к бесконечности. Это одна из причин, по которой «обычные» объекты не способны двигаться быстрее скорости света. Для частицы с ненулевой массой даже достижение скорости света потребует затраты бесконечной энергии. Заметные отклонения от классических выражений для энергии и импульса происходят при скоростях, близких к скорости света. Если скорости относительно невелики, то отклонения от классической динамики незначительны.

7. Взаимосвязь массы и энергии. СТО и ядерная энергетика.

Эквивалентность массы и энергии — физическая концепция теории относительности, согласно которой полная энергия физического объекта (физической системы, тела) равна его (её) массе, умноженной на размерный множитель квадрата скорости света в вакууме.

Энергия покоя способна переходить в кинетическую энергию частиц в результате ядерных и химических реакций, если в них масса вещества, вступившего в реакцию, больше массы вещества, получившегося в результате.

1.7 Лекция 7 (Л-7) (2 часа)

Тема: «Молекулярная физика»

1.7.1 Вопросы лекции:

1. Молекулярно-кинетическая теория (МКТ).
2. Экспериментальное обоснование положений МКТ.
3. Давление газа с точки зрения МКТ.
4. Распределение Максвелла молекул идеального газа.
5. Экспериментальное обоснование распределения Максвелла.
6. Распределение Больцмана.
7. Барометрическая формула.

1.7.2 Краткое содержание вопросов

1. Молекулярно-кинетическая теория (МКТ).

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

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

2. Экспериментальное обоснование положений МКТ.

МКТ стала одной из самых успешных физических теорий и была подтверждена целым рядом опытных фактов. Основными доказательствами положений МКТ стали:

- диффузия;
- броуновское движение;

- изменение агрегатных состояний вещества.

На основе МКТ развит целый ряд разделов современной физики, в частности, физическая кинетика и статистическая механика.

3. 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. Обратная 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, 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.

4. 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.

5. 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 Дюнойе в 1911-м году, сумел измерить скорость движения газовых молекул серебра. Опыт Штерна неопровержимо 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 смещенных 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.

6. Распределение Больцмана.

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

7. Барометрическая формула.

Барометрическая формула — зависимость давления или плотности газа от высоты в поле силы тяжести.

1.8 Лекция 8 (Л-8) (2 часа)

Тема: «Элементы физической кинетики»

1.8.1 Вопросы лекции:

1. Явления переноса.
2. Диффузия.
3. Теплопроводность.
4. Внутреннее трение.

1.8.2 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.

1.9 Лекция 12 (Л-9) (2 часа)

Тема: «Термодинамика»

1.9.1 Вопросы лекции:

1. Термодинамическое равновесие и температура. Нулевое начало термодинамики.
2. Эмпирическая температурная шкала.
3. Первое начало термодинамики.
4. Второе начало термодинамики. Энтропия.
5. Термодинамические процессы
6. Термодинамические циклы.
7. Цикл Карно.

1.9.2 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 флуктуируют (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 применявшиеся 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. 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.

4. Второе начало термодинамики. Энтропия.

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

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

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

Существуют несколько эквивалентных формулировок второго закона термодинамики:

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

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

Энтропия — широко используемый в естественных и точных науках термин. Впервые введён в рамках термодинамики как функция состояния термодинамической системы, определяющая меру необратимого рассеивания энергии. В статистической физике энтропия является мерой вероятности осуществления какого-либо макроскопического состояния. Кроме физики, термин широко употребляется в математике: теории информации и математической статистике. Энтропия может интерпретироваться как мера неопределённости (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.

5. Термодинамические процессы.

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

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

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

6. Термодинамические циклы.

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

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

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

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

7. Цикл Карно.

В термодинамике цикл Карно — это обратимый круговой процесс, состоящий из двух адиабатических и двух изотермических процессов. В цикле Карно термодинамическая система выполняет механическую работу и обменивается теплотой с двумя тепловыми резервуарами, имеющими постоянные, но различающиеся температуры. Резервуар с более высокой температурой называется нагревателем, а с более низкой температурой — холодильником.

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

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

1.10 Лекция 10 (Л-10) (2 часа)

Тема: «Электростатика»

1.10.1 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.

1.10.2 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 закон 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 заряженные 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 покоится.

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.

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

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

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

Теорема Гаусса — один из основных законов электродинамики, входит в систему уравнений Максвелла. Выражает связь (а именно равенство с точностью до постоянного коэффициента) между потоком напряжённости электрического поля сквозь замкнутую поверхность и зарядом в объёме, 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 ньютоновской 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.

1.11 Лекция 11 (Л-11) (2 часа)

Тема: «Проводники в электрическом поле»

1.11.1 Вопросы лекции:

1. Проводники в электрическом поле.
2. Равновесие зарядов в проводнике.
3. Эквипотенциальные поверхности и силовые линии электростатического поля между проводниками.
4. Электростатическая защита.
5. Емкость проводников и конденсаторов. Энергия заряженного конденсатора.

1.11.2 Краткое содержание вопросов

1. Проводники в электрическом поле.

Проводниками называют материалы, имеющие так называемые свободные заряды, которые могут перемещаться в объеме проводника под действием сколь угодно малого внешнего электрического поля.

Типичным примером проводников являются металлы, атомы которых при формировании кристалла решетки отдают в коллективное использование 1-3 электронов с внешних оболочек. Эти электроны, несмотря на то, что находятся в потенциальной яме объема проводника, весьма слабо связаны с атомом, то есть имеют большую подвижность (связь каждого электрона одновременно принадлежит всем атомам, что и обеспечивает их высокую подвижность).

При помещении проводников во внешнее электрическое поле, свободные заряды начинают перемещаться в этом поле, если в объем проводника был дополнительно внесен некоторый заряд, то под действием этого внешнего поля, этот дополнительный заряд распределится по поверхности проводника.

Таким образом, при электризации проводника сообщенный ему дополнительный заряд оказывается, распределен в области поверхности проводника. Это распределение заряда будет происходить до тех пор, пока при распределении заряда потенциал поля в любой точке проводника не станет одинаковым.

2. Равновесие зарядов в проводнике.

Носители зарядов в проводнике способны перемещаться под действием сколь угодно малой силы. Поэтому равновесие зарядов на проводнике может наблюдаться лишь при выполнении следующих условий:

1. Напряженность поля всюду внутри проводника должна быть равна нулю. В соответствии с

уравнением $\vec{E} = -\text{grad } \varphi$ это означает, что потенциал внутри проводника должен быть постоянным.

Напряженность поля на поверхности проводника должна быть в каждой точке направлена по нормали к поверхности, в противном случае появляется составляющая E_τ , направлена вдоль поверхности, что будет

приводить к перемещению зарядов до тех пор пока не пропадет составляющая E_τ . Следовательно, в случае равновесия зарядов поверхность проводника будет эквипотенциальной. Если проводящему телу сообщить некоторый заряд q , то он распределится так, чтобы соблюдались условия равновесия.

При равновесии ни в каком месте внутри проводника не может быть избыточных зарядов - все они расположены на поверхности проводника. Т.к. в состоянии равновесия внутри проводника избыточных зарядов нет, удаление вещества из некоторого объема, взятого внутри проводника, никак не отразится на равновесном расположении зарядов. Таким образом, избыточный заряд распределяется на полой проводнике так же, как и на сплошном, т.е. по его наружной поверхности. На поверхности полости в состоянии равновесия избыточные заряды располагаться не могут.

3. Эквипотенциальные поверхности и силовые линии электростатического поля между проводниками.

Эквипотенциальные поверхности — понятие, применимое к любому потенциальному векторному полю, например, к статическому электрическому полю или к ньютоновскому гравитационному полю. Эквипотенциальная поверхность — это поверхность, на которой скалярный потенциал данного потенциального поля принимает постоянное значение (поверхность уровня потенциала). Другое, эквивалентное, определение — поверхность, в любой своей точке ортогональная силовым линиям поля.

Поверхность проводника в электростатике является эквипотенциальной поверхностью. Кроме того, помещение проводника на эквипотенциальную поверхность не вызывает изменения конфигурации электростатического поля. Этот факт используется в методе изображений, который позволяет рассчитывать электростатическое поле для сложных конфигураций.

Силовые линии электростатического поля имеют следующие свойства:

1. Всегда незамкнуты: начинаются на положительных зарядах (или на бесконечности) и заканчиваются на отрицательных зарядах (или на бесконечности).

2. Не пересекаются и не касаются друг друга.

3. Густота линий тем больше, чем больше напряженность, то есть напряженность поля прямо пропорциональна количеству силовых линий, проходящих через площадку единичной площади, расположенную перпендикулярно линиям.

4. Электростатическая защита.

Электростатическая защита — помещение приборов, чувствительных к электрическому полю, внутрь замкнутой проводящей оболочки для экранирования от внешнего электрического поля.

Это явление связано с тем, что на поверхности проводника (заряженного или незаряженного), помещенного во внешнее электрическое поле, заряды перераспределяются так (явление электростатической индукции), что создаваемое ими внутри проводника поле полностью компенсирует внешнее.

5. Емкость проводников и конденсаторов. Энергия заряженного конденсатора.

Емкость характеризует способность двух проводников накапливать электрический заряд; не зависит от заряда и разности потенциалов, а зависит от геометрических размеров проводников, их формы, взаимного расположения, электрических свойств среды между проводниками.

Конденсатор - электротехническое устройство, накапливающее заряд (два проводника, разделенных слоем диэлектрика).

1.12 Лекция 12 (Л-12) (2 часа)

Тема: «Диэлектрики в электрическом поле»

1.12.1 Вопросы лекции:

1. Диэлектрики в электрическом поле.
2. Электрическое поле диполя.
3. Диполь во внешнем электрическом поле. Поляризация диэлектриков.
4. Ориентационный и деформационный механизмы поляризации.
5. Диэлектрическая проницаемость вещества.

1.12.2 Краткое содержание вопросов

1. Диэлектрики в электрическом поле.

Диэлектрики это вещества, у которых электроны внешних оболочек атома не могут свободно перемещаться по объему диэлектрика под действием сколь угодно малого внешнего поля.

В зависимости от химического строения диэлектрики можно разделить на три группы:

1. Неполлярные диэлектрики.

К ним относятся такие диэлектрики (парафин, бензол), у которых центры сосредоточения положительных и отрицательных зарядов совпадают.

У неполярных диэлектриков возникающий дипольный момент при наложении внешнего электрического поля является упругим и пропорционален напряженности электрического поля.

2. Полярные диэлектрики.

К ним относятся такие диэлектрики, у которых центры сосредоточения положительных и отрицательных зарядов не совпадают.

Отличительной особенностью полярных диэлектриков является жесткий дипольный момент (к таким диэлектрикам относятся вода, нитробензол и т. д.).

При помещении полярного диэлектрика во внешнее электрическое поле, дипольный момент каждой молекулы будет стремиться развернуться по полю, в тоже время этому процессу препятствует тепловое хаотическое движение.

3. Ионные диэлектрики.

К ионным диэлектрикам относятся вещества, имеющие ионную структуру. К ним относятся соли или щелочи: NaCl, KCl, и т.д.

При помещении ионного диэлектрика во внешнее электрическое поле в отличие от полярных диэлектриков будет наблюдаться смещение положительных зарядов по полю, а отрицательных зарядов против поля. Главное отличие в том, что в разумных интервалах температур энергия связи между ионами оказывается больше, чем энергия теплового движения.

2. Электрическое поле диполя.

Диполь — идеализированная система, служащая для приближенного описания поля, создаваемого более сложными системами зарядов, а также для приближенного описания действия внешнего поля на такие системы.

Типичный пример диполя — два заряда, равных по величине и противоположных по знаку, находящихся друг от друга на расстоянии, очень малом по сравнению с расстоянием до точки наблюдения. Поле такой системы полностью описывается дипольным приближением.

3. Диполь во внешнем электрическом поле. Поляризация диэлектриков.

Поляризация диэлектриков — явление, связанное с ограниченным смещением связанных зарядов в диэлектрике или поворотом электрических диполей, обычно под воздействием внешнего электрического поля, иногда под действием других внешних сил или спонтанно.

Поляризацию диэлектриков характеризует вектор электрической поляризации. Физический смысл вектора электрической поляризации — это дипольный момент, отнесенный к единице объема диэлектрика. Иногда вектор поляризации коротко называют просто поляризацией.

Вектор поляризации применим для описания макроскопического состояния поляризации не только обычных диэлектриков, но и сегнетоэлектриков, и, в принципе, любых сред, обладающих сходными

свойствами. Он применим не только для описания индуцированной поляризации, но и спонтанной поляризации (у сегнетоэлектриков).

Поляризация — состояние диэлектрика, которое характеризуется наличием электрического дипольного момента у любого (или почти любого) элемента его объема.

Различают поляризацию, наведенную в диэлектрике под действием внешнего электрического поля, и спонтанную (самопроизвольную) поляризацию, которая возникает в сегнетоэлектриках в отсутствие внешнего поля. В некоторых случаях поляризация диэлектрика (сегнетоэлектрика) происходит под действием механических напряжений, сил трения или вследствие изменения температуры.

4. Ориентационный и деформационный механизмы поляризации.

Электронная, или деформационная, поляризация диэлектрика с неполярными молекулами, заключается в возникновении у атомов индуцированного дипольного момента за счет деформации электронных орбит.

Ориентационная, или дипольная, поляризация диэлектрика с полярными молекулами, заключается в ориентации имеющихся дипольных моментов молекул по полю. Естественно, что тепловое движение препятствует полной ориентации молекул, но в результате совместного действия обоих факторов (электрическое поле и тепловое движение) возникает преимущественная ориентация дипольных моментов молекул по полю. Эта ориентация тем сильнее, чем больше напряженность электрического поля и ниже температура.

5. Диэлектрическая проницаемость вещества.

Диэлектрическая проницаемость среды абсолютная — коэффициент, входящий в математическую запись закона Кулона и уравнение связи векторов электрической индукции и напряженности электрического поля.

Диэлектрическая проницаемость среды относительная — физическая величина, характеризующая свойства изолирующей (диэлектрической) среды и показывающая, во сколько раз сила взаимодействия двух электрических зарядов в этой среде меньше, чем в вакууме. Относительная диэлектрическая проницаемость является безразмерной величиной, обусловлена эффектом поляризации диэлектриков под действием электрического поля и определяется характеризующей этот эффект величиной диэлектрической восприимчивости среды.

1.13 Лекция 13 (Л-13) (2 часа)

Тема: «Постоянный электрический ток»

1.13.1 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.

1.13.2 Краткое содержание вопросов

1. Сила и плотность тока.

Сила тока — физическая величина, равная отношению количества заряда, прошедшего через некоторую поверхность за время t , 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 объема (то есть дивергенция плотности тока положительна), тогда количество заряда внутри объема 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.

1.14 Лекция 14 (Л-14) (2 часа)

Тема: «Магнитостатика»

1.14.1 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).

1.14.2 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, совпала 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 замкнутой поверхностью.

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

1.15 Лекция 15 (Л-15) (2 часа)

Тема: «Магнитное поле в веществе»

1.15.1 Вопросы лекции:

1. Магнитное поле и магнитный дипольный момент кругового тока.
2. Намагничивание магнетиков.

3. Напряженность магнитного поля.
4. Магнитная проницаемость.
5. Классификация магнетиков.

1.15.2 Краткое содержание вопросов

1. Магнитное поле и магнитный дипольный момент кругового тока.

Магнитное поле кругового тока создается током текущему по тонкому круглому проводу.

Магнитный дипольный момент — основная величина, характеризующая магнитные свойства вещества (источником магнетизма, согласно классической теории электромагнитных явлений, являются электрические макро- и микротоки; элементарным источником магнетизма считают замкнутый ток). Магнитным моментом обладают элементарные частицы, атомные ядра, электронные оболочки атомов и молекул. Магнитный момент элементарных частиц (электронов, протонов, нейтронов и других), как показала квантовая механика, обусловлен существованием у них собственного механического момента — спина.

2. Намагничивание магнетиков.

Намагниченность — векторная физическая величина, характеризующая магнитное состояние макроскопического физического тела.

3. Напряженность магнитного поля.

Напряжённость магнитного поля — векторная физическая величина, равная разности вектора магнитной индукции и вектора намагниченности.

4. Магнитная проницаемость.

Магнитная проницаемость — физическая величина, коэффициент (зависящий от свойств среды), характеризующий связь между магнитной индукцией и напряжённостью магнитного поля в веществе. Для разных сред этот коэффициент различен, поэтому говорят о магнитной проницаемости конкретной среды (подразумевая ее состав, состояние, температуру и т. д.).

5. Классификация магнетиков.

Магнетиками называются все вещества, способные намагничиваться во внешнем магнитном поле, т.е. создавать собственное (внутреннее) магнитное поле самого вещества. Магнетики подразделяются по своим магнитным свойствам на слабомагнитные и сильномагнитные вещества. К слабомагнитным веществам относятся парамагнетики и диамагнетики. Основную группу сильномагнитных веществ составляют ферромагнетики. Слабо- и сильномагнитные вещества отличаются величиной относительной магнитной проницаемости μ . Для слабомагнитных веществ μ незначительно отличается от единицы: для парамагнетиков $\mu \geq 1$, для диамагнетиков $\mu \leq 1$. Кроме того, μ для слабомагнитных веществ не зависит от индукции B того магнитного поля, в котором намагничиваются вещества. Для сильномагнитных веществ $\mu \gg 1$ и зависит от B .

К парамагнетикам относятся кислород, окись азота, алюминий, платина, редкоземельные элементы, щелочные и щелочноземельные металлы и другие вещества.

Для парамагнитных веществ μ зависит от температуры и убывает с повышением ее по закону $\mu = 1 + C/T$, где T - термодинамическая температура, C — постоянная Кюри, характерная для данного вещества.

Диамагнетиками являются инертные газы (гелий, аргон и др.), многие металлы (золото, цинк, медь, ртуть, серебро), вода, стекло, мрамор, многие органические соединения. Для этих веществ относительная магнитная проницаемость не зависит от температуры.

К ферромагнетикам же относится сравнительно небольшая группа твердых кристаллических тел — так называемых переходных металлов (железо, никель, кобальт, гадолиний), а также ряд сплавов.

1.16 Лекция 16 (Л-16) (2 часа)

Тема: «Электромагнитная индукция»

1.16.1 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.

1.16.2 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.

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

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

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

Φ_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 родственно понятию взаимной индукции, 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 (сонаправлена 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 μ_0 — магнитная проницаемость вакуума, $n = N/l$ — число витков на единицу длины соленоида, N — число витков, $V = Sl$ — объём соленоида, $z = \pi dN$ — 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.

1.17 Лекция 17 (Л-17) (2 часа)

Тема: «Уравнения Максвелла»

1.17.1 Вопросы лекции:

1. Система уравнений Максвелла в интегральной форме.
2. Физический смысл уравнений, входящих в систему уравнений Максвелла.
3. Ток смещения.

1.17.2 Краткое содержание вопросов

1. Система уравнений Максвелла в интегральной форме.

Уравнения Максвелла — система уравнений в дифференциальной или интегральной форме, описывающих электромагнитное поле и его связь с электрическими зарядами и токами в вакууме и сплошных средах. Вместе с выражением для силы Лоренца, задающим меру воздействия электромагнитного поля на заряженные частицы, образуют полную систему уравнений классической электродинамики, называемую иногда уравнениями Максвелла — Лоренца. Уравнения, сформулированные Джеймсом Клерком Максвеллом на основе накопленных к середине XIX века экспериментальных результатов, сыграли ключевую роль в развитии представлений теоретической физики и оказали сильное, зачастую решающее, влияние не только на все области физики, непосредственно связанные с электромагнетизмом, но и на многие возникшие впоследствии фундаментальные теории, предмет которых не сводился к электромагнетизму (одним из ярчайших примеров здесь может служить специальная теория относительности).

Система уравнений Максвелла в интегральной форме:

$$1. \oint_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{s} = Q$$

$$2. \oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s} = 0$$

$$3. \oint_l \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d}{dt} \int_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{s}$$

$$4. \oint_l \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = I + \frac{d}{dt} \int_S \mathbf{D} \cdot d\mathbf{s}$$

2. Физический смысл уравнений, входящих в систему уравнений Максвелла.

1. Поток электрической индукции через замкнутую поверхность S пропорционален величине свободного заряда, находящегося в объёме V , который окружает поверхность S .
2. Поток магнитной индукции через замкнутую поверхность равен нулю (магнитные заряды не существуют).

3. Изменение потока магнитной индукции, проходящего через незамкнутую поверхность S , взятое с обратным знаком, пропорционально циркуляции электрического поля на замкнутом контуре l , который является границей поверхности S .
4. Полный электрический ток свободных зарядов и изменение потока электрической индукции через незамкнутую поверхность S пропорциональны циркуляции магнитного поля на замкнутом контуре l , который является границей поверхности S .
3. Ток смещения.

Ток смещения — величина, прямо пропорциональная скорости изменения электрической индукции. Это понятие используется в классической электродинамике. Введено Дж. К. Максвеллом при построении теории электромагнитного поля.

Введение тока смещения позволило устранить противоречие в формуле Ампера для циркуляции магнитного поля, которая после добавления туда тока смещения стала непротиворечивой и составила последнее уравнение, позволившее корректно замкнуть систему уравнений классической электродинамики.

Существование тока смещения также следует из закона сохранения электрического заряда.

Строго говоря, ток смещения не является электрическим током, но измеряется в тех же единицах, что и электрический ток.

1.18 Лекция 18 (Л-18) (2 часа)

Тема: «Электромагнитные колебания»

1.18.1 Вопросы лекции:

1. Колебательный контур.
2. Свободные колебания в колебательном контуре.
3. Затухающие колебания в колебательном контуре.
4. Вынужденные колебания в колебательном контуре.

1.18.2 Краткое содержание вопросов

1. Колебательный контур.

Колебательный контур — электрическая цепь, содержащая катушку индуктивности, конденсатор и источник электрической энергии. При последовательном соединении элементов цепи колебательный контур называется последовательным, при параллельном — параллельным.

Колебательный контур — простейшая система, в которой могут происходить свободные электромагнитные колебания.

2. Свободные колебания в колебательном контуре.

Пусть конденсатор ёмкостью C заряжен до напряжения U_0 . Энергия, запасённая в конденсаторе составляет

$$E_C = \frac{CU_0^2}{2}$$

При соединении конденсатора с катушкой индуктивности, в цепи потечёт ток I , что вызовет в катушке электродвижущую силу (ЭДС) самоиндукции, направленную на уменьшение тока в цепи. Ток, вызванный этой ЭДС (при отсутствии потерь в индуктивности) в начальный момент будет равен току разряда конденсатора, то есть результирующий ток будет равен нулю. Магнитная энергия катушки в этот (начальный) момент равна нулю.

Затем результирующий ток в цепи будет возрастать, а энергия из конденсатора будет переходить в катушку до полного разряда конденсатора. В этот момент электрическая энергия конденсатора $E_C = 0$. Магнитная же энергия, сосредоточенная в катушке, напротив, максимальна и равна

$$E_L = \frac{LI_0^2}{2}, \text{ где } L — \text{индуктивность катушки, } I_0 — \text{максимальное значение тока.}$$

После этого начнётся перезарядка конденсатора, то есть заряд конденсатора напряжением другой полярности. Перезарядка будет проходить до тех пор, пока магнитная энергия катушки не перейдёт в электрическую энергию конденсатора. Конденсатор, в этом случае, снова будет заряжен до напряжения $-U_0$.

В результате в цепи возникают колебания, длительность которых будет обратно пропорциональна потерям энергии в контуре.

В общем, описанные выше процессы в параллельном колебательном контуре называются резонанс токов, что означает, что через индуктивность и ёмкость протекают токи, больше тока проходящего через весь контур, причем эти токи больше в определённое число раз, которое называется добротностью. Эти большие токи не покидают пределов контура, так как они противофазны и сами себя компенсируют. Стоит также заметить, что сопротивление параллельного колебательного контура на резонансной частоте стремится к бесконечности (в отличие от последовательного колебательного контура, сопротивление которого на резонансной частоте стремится к нулю), а это делает его незаменимым фильтром.

3. Затухающие колебания в колебательном контуре.

Все реальные контуры содержат электрическое сопротивление R . Процесс свободных колебаний в таком контуре уже не подчиняется гармоническому закону. За каждый период колебаний часть электромагнитной энергии, запасенной в контуре, превращается в джоулево тепло, и колебания становятся затухающими.

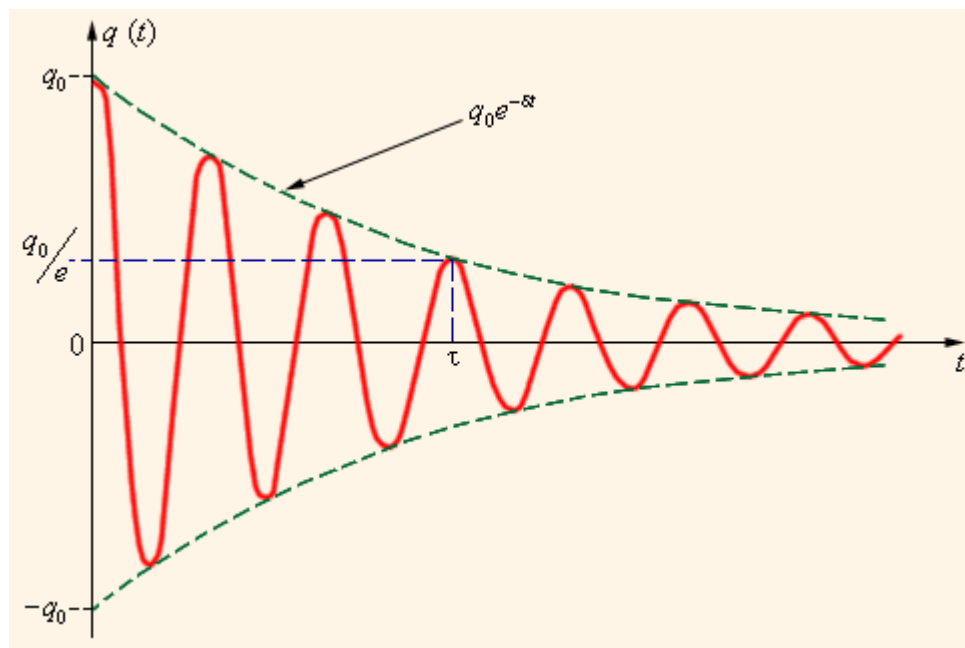


Рисунок. Затухающие колебания в контуре

4. Вынужденные колебания в колебательном контуре.

Процессы, возникающие в электрических цепях под действием внешнего периодического источника тока, называются вынужденными колебаниями.

Вынужденные колебания, в отличие от собственных колебаний в электрических цепях, являются незатухающими. Внешний источник периодического воздействия обеспечивает приток энергии к системе и не дает колебаниям затухать, несмотря на наличие неизбежных потерь.

1.19 Лекция 19 (Л-19)

Тема: «Гармонические колебания»

1.19.1 Вопросы лекции:

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

1.19.2 Краткое содержание вопросов

1. Гармонические колебания.

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

2. Идеальный гармонический осциллятор.

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

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

3. Амплитуда, частота и фаза колебания.

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

Частота — физическая величина, характеристика периодического процесса, равна количеству повторений или возникновения событий (процессов) в единицу времени. Рассчитывается, как отношение

количества повторений или возникновения событий (процессов) к промежутку времени, за которое они совершены.

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

4. Энергия колебаний.

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

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

5. Примеры колебательных движений различной физической природы.

6. Свободные затухающие колебания осциллятора с потерями.

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

7. Вынужденные колебания.

Вынужденные колебания — колебания, происходящие под воздействием внешних периодических сил

8. Автоколебания.

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

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

1.20 Лекция 20 (Л-20) (2 часа)

Тема: «Волны»

1.20.1 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. Стоячие волны.

1.20.2 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 совершает 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 2π 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 мембраны 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. Стоячие волны.

Стоячая волна — явление интерференции волн, распространяющихся в противоположных направлениях, при котором перенос энергии ослаблен или отсутствует.

Стоячая волна — колебательный процесс в распределённых колебательных системах с характерным расположением чередующихся максимумов (пучностей) и минимумов (узлов) амплитуды. Такой колебательный процесс возникает, например, при отражении волны от преград и неоднородностей в результате взаимодействия (интерференции) падающей и отражённой волн. На результат интерференции влияют частота колебаний, модуль и фаза коэффициента отражения, изменение или сохранение поляризации волн при отражении и коэффициент затухания волн в среде распространения.

Строго говоря, стоячая волна может существовать только при отсутствии потерь в среде распространения (или в активной среде) и полном отражении падающей волны. В реальной среде существует режим смешанных волн: кроме стоячей волны присутствует и бегущая волна, переносящая энергию к местам поглощения и излучения.

Примерами стоячей волны могут служить колебания струны, колебания воздуха в органной трубе.

1.21 Лекция 21 (Л-21) (2 часа)

Тема: «Интерференция и дифракция волн»

1.21.1 Вопросы лекции:

1. Интерференционное поле от двух точечных источников.
2. Интерферометр Майкельсона.
3. Интерференция в тонких пленках.
4. Дифракция волн.
5. Принцип Гюйгенса-Френеля.
6. Дифракция Френеля на простейших преградах.
7. Дифракция Фраунгофера.
8. Дифракционная решетка как спектральный прибор.

1.21.2 Краткое содержание вопросов

1. Интерференционное поле от двух точечных источников.

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 накладываемых 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.

2. Интерферометр Майкельсона.

Интерферометр Майкельсона — двухлучевой интерферометр, изобретённый Альбертом Майкельсоном. Данный прибор позволил впервые измерить длину волны света.

Конструктивно состоит из светоделительного зеркала, разделяющего входящий луч на два, которые в свою очередь, отражаются зеркалом обратно. На полупрозрачном зеркале разделённые лучи вновь направляются в одну сторону, чтобы, смешавшись на экране, образовать интерференционную картину. Анализируя её и изменяя длину одного плеча на известную величину, можно по изменению вида интерференционных полос измерить длину волны, либо, наоборот, если длина волны известна, можно определить неизвестное изменение длин плеч. Радиус когерентности изучаемого источника света или другого излучения определяет максимальную разность между плечами интерферометра.

Устройство используется и сегодня в астрономических, физических исследованиях, а также в измерительной технике.

3. Интерференция в тонких пленках.

При освещении тонкой плёнки можно наблюдать интерференцию световых волн, отражённых от верхней и нижней поверхности плёнок. Для белого света, представляющего собой смешение электромагнитных волн из всего оптического спектра интерференционные полосы приобретают окраску. Это явление получило название цветов тонких плёнок. Цвета тонких плёнок наблюдаются на стенках мыльных пузырьков, на плёнках масла, нефти, на поверхности металлов при их закалке.

4. Дифракция волн.

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).

5. Принцип Гюйгенса-Френеля.

Принцип Гюйгенса — Френеля — основной постулат волновой теории, описывающий и объясняющий механизм распространения волн, в частности, световых.

Принцип Гюйгенса - Френеля является развитием принципа, который ввёл Христиан Гюйгенс в 1678 году: каждая точка фронта (поверхности, достигнутой волной) является вторичным (т.е. новым) источником сферических волн. Огибающая фронтов волн всех вторичных источников становится фронтом волны в следующий момент времени.

Принцип Гюйгенса объясняет распространение волн, согласующееся с законами геометрической оптики, но не может объяснить явлений дифракции. Огюстен Жан Френель в 1815 году дополнил принцип Гюйгенса, введя представления о когерентности интерференции элементарных волн, что позволило рассматривать на основе принципа Гюйгенса — Френеля и дифракционные явления.

6. Дифракция Френеля на простейших преградах.

Различают два случая дифракции: дифракцию Френеля (дифракция в расходящихся лучах) и дифракцию Фраунгофера (дифракция в параллельных лучах).

7. Дифракция Фраунгофера.

Дифракция Фраунгофера — случай дифракции, при котором дифракционная картина наблюдается на значительном расстоянии от отверстия или преграды.

Дифракционные явления Фраунгофера имеют большое практическое значение, лежат в основе принципа действия многих спектральных приборов, в частности, дифракционных решёток. В последнем случае для наблюдения светового поля «в бесконечности» используются линзы или вогнутые дифракционные решетки (соответственно, экран ставится в фокальной плоскости).

8. Дифракционная решетка как спектральный прибор.

Дифракционная решётка — оптический прибор, действие которого основано на использовании явления дифракции света. Представляет собой совокупность большого числа регулярно расположенных штрихов (щелей, выступов), нанесённых на некоторую поверхность

С увеличением числа щелей растёт интенсивность главных максимумов, ибо возрастает количество пропускаемого решеткой света. Но самое существенное изменение, вызванное большим количеством щелей, состоит в превращении расплывчатых главных максимумов в резкие, узкие максимумы. Резкость максимумов дает возможность отличить близкие длины волн, которые изображаются отдельными, яркими полосками и не будут перекрывать друг друга, как это имеет место при расплывчатых максимумах, получающихся при одной или малом количестве щелей.

Дифракционная решетка, как и всякий спектральный прибор, характеризуется дисперсией и разрешающей способностью.

1.22 Лекция 22 (Л-22) (2 часа)

Тема: «Поляризация и дисперсия волн»

1.22.1 Вопросы лекции:

1. Форма и степень поляризации монохроматических волн.
2. Получение и анализ линейно-поляризованного света.
3. Линейное двулучепреломление.
4. Прохождение света через линейные фазовые пластинки.
5. Искусственная оптическая анизотропия.
6. Феноменология поглощения и дисперсии света.

1.22.2 Краткое содержание вопросов

1. Форма и степень поляризации монохроматических волн.

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.

2. Получение и анализ линейно-поляризованного света.

Поляризаторы - устройства, служащие для преобразования естественного света в линейно-поляризованный.

Анализаторы - устройства, служащие для анализа степени поляризации света.

3. Линейное двулучепреломление.

Двойное лучепреломление — эффект расщепления в анизотропных средах луча света на две составляющие. Впервые обнаружен датским учёным Расмусом Бартолином на кристалле исландского шпата. Если луч света падает перпендикулярно к поверхности кристалла, то на этой поверхности он расщепляется на два луча. Первый луч продолжает распространяться прямо, и называется обыкновенным, второй же отклоняется в сторону, и называется необыкновенным.

4. Прохождение света через линейные фазовые пластинки.

Оптический элемент, преобразующий форму поляризации проходящего через него монохроматического поляризованного пучка света без потери интенсивности и поляризации, называется фазовой или волновой пластинкой. Совместно с линейными поляризаторами фазовые пластинки применяются для получения или анализа циркулярно и эллиптически поляризованного света. Большинство фазовых пластинок хроматические, т. е. сдвиг фаз в них зависит от длины волны света. Различают линейные, круговые и эллиптические фазовые пластинки в зависимости от того, какая из форм поляризации может пройти без изменения через данную фазовую пластинку при ее соответствующей ориентации.

Для получения эллиптически поляризованного света плоско-поляризованный пучок обычно пропускают через фазовую пластинку, вырезанную из одноосного кристалла. Такая пластинка вносит разность фаз между двумя компонентами электрического вектора, параллельной и перпендикулярной к выделенному направлению в кристалле. Это направление называется оптической осью кристалла.

Фазовые пластинки чаще всего изготавливают из кварца и слюды. Кварц оптически активен, но его оптическая активность не проявляется, если свет проходит перпендикулярно к оптической оси. Слюда — двухосный анизотропный материал. Однако две главные оси эллипсоида диэлектрической проницаемости параллельны плоскости пластинки, поэтому для перпендикулярно падающего света слюда ведет себя как одноосный кристалл. Наиболее распространены фазовые пластинки со сдвигом фаз в 90° и 180° . Их называют четвертьволновыми и полуволновыми, что соответствует оптической разности хода в четверть или половину длины волны. При прохождении света последовательно через несколько одинаково ориентированных фазовых пластинок результат их действия равен сумме фазовых сдвигов в каждой пластинке.

5. Искусственная оптическая анизотропия.

Двойное лучепреломление имеет место в естественных анизотропных средах. Существуют, однако, различные способы получения искусственной оптической анизотропии, т. е. сообщения оптической анизотропии естественно изотропным веществам.

Оптически изотропные вещества становятся оптически анизотропными под действием: 1) одностороннего сжатия или растяжения (кристаллы кубической системы, стекла и др.); 2) электрического поля (эффект Керра; жидкости, аморфные тела, газы); 3) магнитного поля (жидкости, стекла, коллоиды). В перечисленных случаях вещество приобретает свойства одноосного кристалла, оптическая ось которого совпадает с направлением деформации, электрического или магнитного полей соответственно указанным выше воздействиям.

6. Феноменология поглощения и дисперсии света.

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.

1.23 Лекция 23 (Л-23) (2 часа)

Тема: «Квантовые свойства электромагнитного излучения»

1.23.1 Вопросы лекции:

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

1.23.2 Краткое содержание вопросов

1. Тепловое излучение и люминесценция.

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

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

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

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

2. Спектральные характеристики теплового излучения.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

6. Корпускулярно-волновой дуализм света.

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

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

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

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

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

7. Модель атома Томсона.

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

8. Опыты Резерфорда по рассеянию альфа-частиц.

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

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

9. Ядерная модель атома.

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

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

10. Эмпирические закономерности в атомных спектрах.

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

1.24 Лекция 24 (Л-24) (2 часа)

Тема: «Элементы квантовой механики»

1.24.1 Вопросы лекции:

1. Гипотеза де Бройля.
2. Опыты Дэвиссона и Джермера.
3. Дифракция микрочастиц.
4. Принцип неопределенности Гейзенберга.
5. Волновая функция, ее статистический смысл и условия, которым она должна удовлетворять. Уравнение Шредингера.
6. Квантовая частица в одномерной потенциальной яме. Одномерный потенциальный порог и барьер.

1.24.2 Краткое содержание вопросов

1. Гипотеза де Бройля.

Недостатки теории Бора указывали на необходимость пересмотра основ квантовой теории и представлений о природе микрочастиц (электронов, протонов и т.п.). Возник вопрос о том, насколько исчерпывающим является представление электрона в виде малой механической частицы, характеризующейся определенными координатами и определенной скоростью.

В оптических явлениях наблюдается своеобразный дуализм. Наряду с явлениями дифракции, интерференции (волновыми явлениями) наблюдаются и явления, характеризующие корпускулярную природу света (фотоэффект, эффект Комптона).

В 1924 г. Луи де Бройль выдвинул гипотезу, что дуализм не является особенностью только оптических явлений, а имеет универсальный характер. Частицы вещества также обладают волновыми свойствами.

2. Опыты Дэвиссона и Джермера.

Опыт Дэвиссона-Джермера — физический эксперимент по дифракции электронов, проведенный в 1927 г. американскими учеными Клинтон Дэвиссоном и Лестером Джермером.

Проводилось исследование отражения электронов от монокристалла никеля. Установка включала в себя монокристалл никеля, сошлифованный под углом и установленный на держателе. На плоскость шлифа направлялся перпендикулярно пучок монохроматических электронов. Скорость электронов определялась напряжением U на электронной пушке:

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m_e}}.$$

Под углом θ к падающему пучку электронов устанавливался цилиндр Фарадея, соединённый с чувствительным гальванометром. По показаниям гальванометра определялась интенсивность отражённого от кристалла электронного пучка. Вся установка находилась в вакууме.

В опытах измерялась интенсивность рассеянного кристаллом электронного пучка в зависимости от угла рассеяния $0 < \theta < 90^\circ$, от азимутального угла $0 < \varphi < 360^\circ$, от скорости v электронов в пучке.

Опыты показали, что имеется ярко выраженная селективность (выборочность) рассеяния электронов. При различных значениях углов и скоростей, в отражённых лучах наблюдаются максимумы и минимумы интенсивности. Условие максимума:

$$\Delta = 2d \sin \theta = \lambda n, n = 1, 2, \dots$$

Здесь d — межплоскостное расстояние.

Таким образом, наблюдалась дифракция электронов на кристаллической решётке монокристалла. Опыт явился блестящим подтверждением существования у микрочастиц волновых свойств.

Так как дифракционная картина исследовалась для потока электронов, то необходимо было доказать, что волновые свойства присущи не только потоку большой совокупности электронов, но и каждому электрону в отдельности. Это удалось экспериментально подтвердить в 1948 году советскому физик В. А. Фабриканту. Он показал, что даже в случае столь слабого электронного пучка, когда каждый электрон проходит через прибор независимо от других (промежуток времени между двумя электронами в 104 раз больше времени прохождения электроном прибора), возникающая при длительной экспозиции дифракционная картина не отличается от дифракционных картин, получаемых при короткой экспозиции для потоков электронов, в десятки миллионов раз более интенсивных. Следовательно, волновые свойства частиц не являются свойством их коллектива, а присущи каждой частице в отдельности.

3. Дифракция микрочастиц.

Впоследствии дифракционные явления обнаружили также для нейтронов, протонов, атомных и молекулярных пучков. Это окончательно послужило доказательством наличия волновых свойств микрочастиц и позволило описывать движение микрочастиц в виде волнового процесса, характеризующегося определенной длиной волны, рассчитываемой по формуле де Бройля. Открытие волновых свойств микрочастиц привело к появлению и развитию новых методов исследования структуры веществ, таких, как электронография и нейтронография, а также к возникновению новой отрасли науки — электронной оптики.

4. Принцип неопределённости Гейзенберга.

Принцип неопределённости Гейзенберга в квантовой механике — фундаментальное соображение (соотношение неопределённостей), устанавливающее предел точности одновременного определения пары характеризующих систему квантовых наблюдаемых, описываемых некоммутирующими операторами (например, координаты и импульса, тока и напряжения, электрического и магнитного поля). Более доступно он звучит так: чем точнее измеряется одна характеристика частицы, тем менее точно можно измерить вторую. Соотношение неопределённостей задаёт нижний предел для произведения среднеквадратичных отклонений пары квантовых наблюдаемых. Принцип неопределённости, открытый Вернером Гейзенбергом в 1927 г., является одним из краеугольных камней физической квантовой механики. Является следствием принципа корпускулярно-волнового дуализма.

5. Волновая функция, ее статистический смысл и условия, которым она должна удовлетворять. Уравнение Шредингера.

Волновая функция, или пси-функция ψ — комплекснозначная функция, используемая в квантовой механике для описания чистого состояния системы.

Согласно копенгагенской интерпретации квантовой механики плотность вероятности нахождения частицы в данной точке конфигурационного пространства в данный момент времени считается равной квадрату абсолютного значения волновой функции этого состояния в координатном представлении.

Вероятностный смысл волновой функции накладывает определенные ограничения, или условия, на волновые функции в задачах квантовой механики. Эти стандартные условия часто называют условиями регулярности волновой функции.

Условие конечности волновой функции: волновая функция не может принимать бесконечных значений. Следовательно, это условие требует, чтобы волновая функция была квадратично интегрируемой функцией. В частности, в задачах с нормированной волновой функцией квадрат модуля волновой функции должен стремиться к нулю на бесконечности.

Условие однозначности волновой функции: волновая функция должна быть однозначной функцией координат и времени, так как плотность вероятности обнаружения частицы должна определяться в каждой задаче однозначно. В задачах с использованием цилиндрической или сферической системы координат условие однозначности приводит к периодичности волновых функций по угловым переменным.

Условие непрерывности волновой функции: в любой момент времени волновая функция должна быть непрерывной функцией пространственных координат. Кроме того, непрерывными должны быть также

$$\frac{\partial \Psi}{\partial x}, \frac{\partial \Psi}{\partial y}, \frac{\partial \Psi}{\partial z}$$

частные производные волновой функции. Эти частные производные функций лишь в редких случаях задач с идеализированными силовыми полями могут терпеть разрыв в тех точках пространства, где потенциальная энергия, описывающая силовое поле, в котором движется частица, испытывает разрыв второго рода.

Волновая функция Ψ по своему смыслу должна удовлетворять так называемому условию нормировки, например, в координатном представлении имеющему вид:

$$\int_V \Psi^* \Psi dV = 1$$

Это условие выражает тот факт, что вероятность обнаружить частицу с данной волновой функцией где-либо во всём пространстве равна единице. В общем случае интегрирование должно производиться по всем переменным, от которых зависит волновая функция в данном представлении.

Уравнение Шрёдингера — линейное дифференциальное уравнение в частных производных, описывающее изменение в пространстве и во времени чистого состояния, задаваемого волновой функцией, в гамильтоновых квантовых системах. Играет в квантовой механике такую же важную роль, как уравнения Гамильтона или уравнение второго закона Ньютона в классической механике или уравнения Максвелла для электромагнитных волн. Сформулировано Эрвином Шрёдингером в 1925 году, опубликовано в 1926 году. Уравнение Шрёдингера не выводится, а постулируется методом аналогии с классической оптикой, на основе обобщения экспериментальных данных.

Уравнение Шрёдингера предназначено для частиц без спина, движущихся со скоростями много меньшими скорости света. В случае быстрых частиц и частиц со спином используются его обобщения (уравнение Клейна — Гордона, уравнение Паули, уравнение Дирака и др.)

В начале XX века учёные пришли к выводу, что между предсказаниями классической теории и экспериментальными данными об атомной структуре существует ряд расхождений. Открытие уравнения Шрёдингера последовало за революционным предположением де Бройля, что не только свету, но и вообще любым телам (в том числе и любым микрочастицам) присущи волновые свойства.

Исторически окончательной формулировке уравнения Шрёдингера предшествовал длительный период развития физики. Оно является одним из важнейших уравнений физики, объясняющих физические явления. Квантовая теория, однако, не требует полного отказа от законов Ньютона, а лишь определяет границы применимости классической физики. Следовательно, уравнение Шрёдингера должно согласовываться с законами Ньютона в предельном случае.

Средние значения механических величин для волнового пакета, который можно описать уравнением Шрёдингера, удовлетворяют классическим уравнениям Гамильтона (теорема Эренфеста).

Уравнение Шрёдингера инвариантно относительно преобразований Галилея. Из этого факта вытекает ряд важных следствий: существование ряда операторов квантовой механики, связанных с преобразованиями Галилея, невозможность описания состояний со спектром масс или нестабильные элементарные частицы в нерелятивистской квантовой механике (теорема Баргмана), существование квантовомеханических инвариантов, порождаемых преобразованием Галилея.

Уравнение Шрёдингера является более сложным по сравнению с уравнениями Гамильтона классической механики. Уравнения Гамильтона являются системой обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка, а уравнение Шрёдингера является дифференциальным уравнением в частных производных.

Уравнение Шрёдингера линейно, то есть если волновые функции Ψ и Φ удовлетворяют уравнению Шрёдингера, то ему удовлетворяет любая их линейная комбинация $\alpha\Psi + \beta\Phi$, где α и β — комплексные числа. Вследствие этого линейная суперпозиция волновых функций не нарушается уравнением Шрёдингера и необходима операция измерения для редукции волновой функции. Линейность оператора Шрёдингера является следствием и обобщением принципа суперпозиции, который важен для корректной формулировки понятия операции измерения.

Уравнение Шрёдингера, как и уравнения Гамильтона, является уравнением первого порядка по времени. Оно является математическим выражением принципа статистического детерминизма в квантовой механике — данное состояние системы определяет её последующее состояние не однозначно, а лишь с определённой вероятностью, задаваемой при помощи волновой функции Ψ .

Уравнение Шрёдингера сходно с уравнениями теплопроводности и диффузии классической физики тем, что оно является уравнением первого порядка по времени и отличается от них наличием мнимого

$$\frac{\partial \Psi}{\partial t}$$

коэффициента перед $\frac{\partial \Psi}{\partial t}$. Благодаря ему оно может иметь и периодические решения.

Для всех квантовых систем, занимающих ограниченные области пространства, решения уравнения Шрёдингера существуют только для счётного множества значений энергии E_n и представляют собой счётное множество волновых функций Ψ_n , члены которого нумеруются набором квантовых чисел n .

Уравнение Шрёдингера не может объяснить спонтанного излучения, так как волновая функция возбуждённого состояния является точным решением зависящего от времени уравнения Шрёдингера.

Уравнение Шрёдингера не может описывать процесс измерения в квантовой механике, поскольку оно линейно, детерминистично и обратимо во времени, а процесс измерения нелинеен, стохастичен и необратим во времени.

6. Квантовая частица в одномерной потенциальной яме. Одномерный потенциальный порог и барьер.

Потенциальная яма — ограниченная область пространства с пониженной потенциальной энергией частицы. Потенциальная яма обычно отвечает короткодействующим силам притяжения. В области действия этих сил потенциал отрицателен, а вне области действия этих — сил потенциал нулевой.

1.25 Лекция 25 (Л-25) (2 часа)

Тема: «Квантово-механическое описание атомов»

1.25.1 Вопросы лекции:

1. Стационарное уравнение Шредингера для атома водорода.
2. Волновые функции и квантовые числа.
3. Правила отбора для квантовых переходов.
4. Опыт Штерна и Герлаха.
5. Эффект Зеемана.

1.25.2 Краткое содержание вопросов

1. Стационарное уравнение Шредингера для атома водорода.

Атом водорода — физико-химическая система, состоящая из атомного ядра, несущего элементарный положительный электрический заряд, и электрона, несущего элементарный отрицательный электрический заряд. В состав атомного ядра может входить протон или протон с одним или несколькими нейтронами, образуя изотопы водорода. Электрон преимущественно находится в тонком концентрическом шаровом слое вокруг атомного ядра, образуя электронную оболочку атома.

Атом водорода имеет специальное значение в квантовой механике и релятивистской квантовой механике, поскольку для него проблема двух тел имеет точное или приближенное аналитическое решения. Эти решения применимы для разных изотопов водорода, с соответствующей коррекцией.

В квантовой механике атом водорода описывается двухчастичной матрицей плотности или двухчастичной волновой функцией. Также упрощенно рассматривается как электрон в электростатическом поле бесконечно тяжёлого атомного ядра, не участвующего в движении (или просто в кулоновском электростатическом потенциале вида $1/r$). В этом случае атом водорода описывается редуцированной одночастичной матрицей плотности или волновой функцией.

В 1913 году Нильс Бор предложил модель атома водорода, имеющую множество предположений и упрощений, и вывел из неё спектр излучения водорода. Предположения модели не были полностью правильными, но тем не менее приводили к верным значениям энергетических уровней атома.

Результаты расчётов Бора были подтверждены в 1925—1926 годах строгим квантово-механическим анализом, основанном на уравнении Шрёдингера. Решение уравнения Шрёдингера для электрона в электростатическом поле атомного ядра выводится в аналитической форме. Оно описывает не только уровни энергии электрона и спектр излучения, но и форму атомных орбиталей.

Так как потенциальная функция электрона в атоме водорода имеет вид $U(r) = -\frac{e^2}{r}$, где e — заряд электрона (и протона), r — радиус-вектор, то уравнение Шрёдингера запишется следующим образом:

$$\Delta\psi + \frac{2m}{\hbar^2} \left(E + \frac{e^2}{r} \right) \psi = 0.$$

Здесь ψ — волновая функция электрона в системе отсчёта протона, m — масса электрона, $\hbar = \frac{h}{2\pi}$

— постоянная Планка, E — полная энергия электрона, $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ — оператор Лапласа.

2. Волновые функции и квантовые числа.

Решение уравнения Шрёдингера для водородного атома использует факт, что кулоновский потенциал является изотропным, то есть не зависит от направления в пространстве, другими словами, обладает сферической симметрией. Хотя конечные волновые функции (орбитали) не обязательно сферически симметричны, их зависимость от угловой координаты следуют полностью из изотропии основного потенциала: собственные значения оператора Гамильтона можно выбрать в виде собственных состояний

оператора углового момента. Это соответствует тому факту, что угловой момент сохраняется при орбитальном движении электрона вокруг ядра. Отсюда следует, что собственные состояния гамильтониана задаются двумя квантовыми числами углового момента l и m (целые числа). Квантовое число углового момента l может принимать значения $0, 1, 2, \dots$ и определяет величину углового момента. Магнитное квантовое число может принимать $m = -l, \dots, +l$; оно определяет проекцию углового момента на (произвольно выбранную) ось z .

В дополнение к математическим выражениям для волновых функций полного углового момента и проекции углового момента, нужно найти выражение для радиальной зависимости волновой функции. В потенциале $1/r$ радиальные волновые функции записываются с использованием полиномов Лагерра. Это приводит к третьему квантовому числу, которое называется основным квантовым числом n и может принимать значения $1, 2, 3, \dots$. Основное квантовое число в атоме водорода связано с полной энергией атома. Заметим, что максимальное значение квантового числа углового момента ограничено основным квантовым числом: оно может изменяться только до $n - 1$, то есть $l = 0, 1, \dots, n-1$.

Из-за сохранения углового момента состояния с одинаковыми l , но различными m в отсутствие магнитного поля имеют одну и ту же энергию (это выполняется для всех задач с аксиальной симметрией). Кроме того, для водородного атома состояния с одинаковыми n , но разными l также вырождены (то есть имеют одинаковую энергию). Однако это свойство — особенность лишь атома водорода (и водородоподобных атомов), оно не выполняется для более сложных атомов, которые имеют потенциал, отличающийся от кулоновского (из-за присутствия внутренних электронов, экранирующих потенциал ядра).

Если мы примем во внимание спин электрона, то появится последнее, четвёртое квантовое число, определяющее состояния атома водорода — проекция углового момента собственного вращения электрона на ось Z . Эта проекция может принимать два значения. Любое собственное состояние электрона в водородном атоме полностью описывается четырьмя квантовыми числами. Согласно обычным правилам квантовой механики, фактическое состояние электрона может быть любой суперпозицией этих состояний. Это объясняет также, почему выбор оси Z для квантования направления вектора углового момента является несущественным: орбиталь для данных l и m' , полученных для другой выделенной оси Z' , всегда представляется как подходящая суперпозиция различных состояний с разными m (но тем же самым l), которые были получены для Z .

3. Правила отбора для квантовых переходов.

Правилами отбора в спектроскопии называют ограничения и запрет на переходы между уровнями квантомеханической системы с поглощением или излучением фотона, наложенные законами сохранения и симметрией.

4. Опыт Штерна и Герлаха.

Опыт Штерна — Герлаха — опыт немецких физиков Отто Штерна и Вальтера Герлаха, осуществлённый в 1922 году. Опыт подтвердил наличие у атомов спина (изначально в эксперименте участвовали атомы серебра, а потом и других металлов) и факт пространственного квантования направления их магнитных моментов.

Опыт состоял в следующем: пучок атомов серебра пропускали через сильно неоднородное магнитное поле, создаваемое мощным постоянным магнитом. При прохождении атомов через это поле, в силу обладания ими магнитных моментов, на них действовала зависящая от проекции спина на направление магнитного поля сила, отклонявшая летящие между магнитами атомы от их первоначального направления движения. Причём, если предположить, что магнитные моменты атомов ориентированы хаотично (непрерывно), то тогда на расположенной далее по направлению движения атомов пластинке должна была проявиться размытая полоса. Однако вместо этого на пластинке образовались две достаточно чёткие узкие полосы, что свидетельствовало в пользу того, что магнитные моменты атомов вдоль выделенного направления принимали лишь два определённых значения, что подтверждало предположение квантово-механической теории о квантовании магнитного момента атомов.

Позднее с аналогичными результатами были проделаны опыты для пучков атомов других металлов, а также пучков протонов и электронов. Эти опыты доказали существование магнитного момента у рассмотренных частиц и показали их квантовую природу, явив собой доказательство постулатов квантовой теории.

5. Эффект Зеемана.

Эффект Зеемана — расщепление линий атомных спектров в магнитном поле. Назван в честь Питера Зеемана, открывшего эффект в 1896 году.

1.26 Лекция 26 (Л-26) (2 часа)

Тема: «Элементы квантовой микрофизики»

1.26.1 Вопросы лекции:

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

1.26.2 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 фемтометров, 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}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-нечётных пар, как и спин, равен нулю. Магнитные моменты ядер с непарными нуклонами образуются собственными моментами этих нуклонов и моментом, связанным с орбитальным движением непарного протона.

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

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

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

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

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

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

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

где c — скорость света в вакууме.

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

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

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

3. Радиоактивность. Виды и законы радиоактивного излучения.

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

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

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

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

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

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

Энергетические спектры α -частиц и γ -квантов, излучаемых радиоактивными ядрами, прерывистые («дискретные»), а спектр β -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 β^+ -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 λ — постоянная распада, которая характеризует вероятность радиоактивного распада за единицу времени и имеет размерность 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 T2 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 T2 распадается с той же скоростью, что и в составе тритированного валина. Слабые изменения константы распада в лабораторных условиях обнаружены лишь для электронного захвата — доступные в лаборатории температуры и давления, а также изменение химического состава способны несколько изменять плотность электронного облака в окружении ядра, что приводит к изменению скорости распада на доли процента. Однако в достаточно жёстких условиях (высокая ионизация атома, высокая плотность электронов, высокий химический потенциал нейтрино, сильные магнитные поля), труднодостижимых в лаборатории, но реализующихся, например, в ядрах звёзд, другие типы распадов тоже могут изменять свою вероятность.

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

4. Ядерные реакции. Деление ядер. Синтез ядер.

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

Впервые ядерную реакцию наблюдал Резерфорд в 1919 году, бомбардируя α -частицами ядра атомов азота, она была зафиксирована по появлению вторичных ионизирующих частиц, имеющих пробег в газе больше пробега α -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.

1.27 Лекция 27 (Л-27) (2 часа)

Тема: «Элементарные частицы»

1.27.1 Вопросы лекции:

- 1.1. Фундаментальные взаимодействия и основные классы элементарных частиц.
- 1.2. Частицы и античастицы.
- 1.3. Лептоны и адроны.
- 1.4. Кварки.
- 1.5. Электрослабое взаимодействие.

1.27.2 Краткое содержание вопросов

1. Фундаментальные взаимодействия и основные классы элементарных частиц.

Элементарная частица — собирательный термин, относящийся к микрообъектам в субъядерном масштабе, которые невозможно расщепить на составные части.

Следует иметь в виду, что некоторые элементарные частицы (электрон, нейтрино, кварки и т. д.) на данный момент считаются бесструктурными и рассматриваются как первичные фундаментальные частицы. Другие элементарные частицы (так называемые составные частицы, в том числе частицы, составляющие ядро атома — протоны и нейтроны) имеют сложную внутреннюю структуру, но, тем не менее, по современным представлениям, разделить их на части невозможно по причине эффекта конфайнмента.

Всего вместе с античастицами открыто более 350 элементарных частиц. Из них стабильны фотон, электронное и мюонное нейтрино, электрон, протон и их античастицы. Остальные элементарные частицы самопроизвольно распадаются за время от приблизительно 1000 секунд (для свободного нейтрона) до ничтожно малой доли секунды (от 10^{-24} до 10^{-22} , для резонансов).

Строение и поведение элементарных частиц изучается физикой элементарных частиц.

Все элементарные частицы делятся на два класса:

- Стабильные элементарные частицы - частицы, имеющие бесконечно большое время жизни в свободном состоянии (протон, электрон, нейтрино, фотон, гравитон и их античастицы).
- Нестабильные элементарные частицы - частицы, распадающиеся на другие частицы в свободном состоянии за конечное время (все остальные частицы).

По массе все элементарные частицы делятся на два класса:

- Безмассовые частицы - частицы с нулевой массой (фотон, глюон, гравитон и их античастицы).
- Частицы с ненулевой массой (все остальные частицы).

По величине спина все элементарные частицы делятся на два класса:

- бозоны — частицы с целым спином (например, фотон, глюон, мезоны, бозон Хиггса).
- фермионы — частицы с полуцелым спином (например, электрон, протон, нейтрон, нейтрино).

Кроме того, в Стандартной модели с необходимостью присутствует хиггсовский бозон, первые экспериментальные указания на существование которого появились в 2012 году.

2. Частицы и античастицы.

Античастица — частица-двойник некоторой другой элементарной частицы, обладающая той же массой и тем же спином, отличающаяся от неё знаками всех других характеристик взаимодействия (зарядов, таких как электрический и цветовой заряды, барионное и лептонное квантовые числа).

Само определение того, что называть «частицей» в паре частица-античастица, в значительной мере условно. Однако при данном выборе «частицы» её античастица определяется однозначно. Сохранение барионного числа в процессах слабого взаимодействия позволяет по цепочке распадов барионов определить «частицу» в любой паре барион-антибарион. Выбор электрона как «частицы» в паре электрон-позитрон фиксирует (вследствие сохранения лептонного числа в процессах слабого взаимодействия) определение состояния «частицы» в паре электронных нейтрино-антинейтрино. Переходы между лептонами различных поколений не наблюдались, так что определение «частицы» в каждом поколении лептонов, вообще говоря, может быть произведено независимо. Обычно по аналогии с электроном «частицами» называют отрицательно заряженные лептоны, что при сохранении лептонного числа определяет соответствующие нейтрино и антинейтрино. Для бозонов понятие «частица» может фиксироваться определением, например, гиперзаряда.

3. Лептоны и адроны.

Адроны — частицы, участвующие во всех видах фундаментальных взаимодействий. Они состоят из кварков и подразделяются, в свою очередь, на:

- мезоны — адроны с целым спином, то есть являющиеся бозонами;
- барионы — адроны с полуцелым спином, то есть фермионы. К ним, в частности, относятся частицы, составляющие ядро атома, — протон и нейтрон.

Лептоны — фермионы, которые имеют вид точечных частиц (то есть не состоящих ни из чего) вплоть до масштабов порядка 10^{-18} м. Не участвуют в сильных взаимодействиях. Участие в электромагнитных

взаимодействиях экспериментально наблюдалось только для заряженных лептонов (электроны, мюоны, тау-лептоны) и не наблюдалось для нейтрино.

4. Кварки.

Кварки — дробнозаряженные частицы, входящие в состав адронов. В свободном состоянии не наблюдались (для объяснения отсутствия таких наблюдений предложен механизм конфайнмента). Как и лептоны, делятся на 6 типов и считаются бесструктурными, однако, в отличие от лептонов, участвуют в сильном взаимодействии.

5. Электрослабое взаимодействие.

В физике элементарных частиц электрослабое взаимодействие является общим описанием двух из четырёх фундаментальных взаимодействий: слабого взаимодействия и электромагнитного взаимодействия. Хотя эти два взаимодействия очень различаются на обычных низких энергиях, в теории они представляются как два разных проявления одного взаимодействия. При энергиях выше энергии объединения (порядка 100 ГэВ) они соединяются в единое электрослабое взаимодействие.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

2.1 Лабораторная работа № 1 (2 часа).

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

2.1.1 Цель работы: ознакомиться с основными правилами и принципами

обработки результатов измерений

2.1.2 Задачи работы:

1. Освоить методику экспериментального определения значений физических величин

2. Научиться обрабатывать результаты измерений

3. Находить погрешности измерений

2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Линейка

2. Секундомер

2.1.4 Описание (ход) работы:

1. Изучить по методическим указаниям тему «Физические величины, их измерение и оценка погрешностей»

2. Оценить погрешность линейки и секундомера при различных измерениях

3. Сделать вывод

2.2 Лабораторная работа № 2 (2 часа).

Тема: «Определение плотности тел правильной геометрической формы»

2.2.1 Цель работы: определить плотность тела правильной геометрической формы

2.2.2 Задачи работы:

1. Освоить методику экспериментального определения значений физических величин

2. Научиться обрабатывать результаты измерений

3. Находить погрешности измерений

2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Цилиндр
2. Штангенциркуль

2.2.4 Описание (ход) работы:

1. Познакомиться с устройством штангенциркуля.
2. Измерить высоту цилиндра с помощью штангенциркуля не менее 3 раз в различных местах и результат измерений занести в таблицу.

3. Определить среднюю абсолютную $\langle \Delta h \rangle$ и относительную $\varepsilon = \frac{\langle \Delta h \rangle}{\langle h \rangle}$ погрешности измерений и результат обработки занести в таблицу.

4. Измерить диаметр цилиндра не менее 3 раз в различных местах и результат измерений занести в таблицу.

5. Определить среднюю абсолютную $\langle \Delta d \rangle$ и относительную ε погрешности измерений и результаты обработки занести в таблицу.

6. Вычислить объем цилиндра по формуле $v = \frac{\pi d^2}{4} \cdot h$, применив правила приближенных вычислений. По правилам приближенных вычислений в исходных данных и в окончательном результате нужно оставить столько значащих цифр, сколько их есть в исходном данном с наименьшим числом значащих цифр.

7. Рассчитать абсолютную Δv и относительную ошибку $\varepsilon_v = \frac{\Delta v}{v}$ по формулам погрешностей косвенных измерений.

8. Определить массу цилиндра с помощью весов и разновесов (технические весы обеспечивают точность 0,1 г, эту величину берут за абсолютную ошибку определения массы цилиндра). Величина массы может быть выбита на торце цилиндра.

9. Рассчитать плотность цилиндра по формуле $\rho = m / v$.

10. Найти по таблице, из какого вещества он изготовлен.

11. Найти относительную погрешность вычисления плотности вещества:

$$\varepsilon_\rho = \langle \Delta m \rangle / \langle m \rangle + \langle \Delta v \rangle / \langle v \rangle = \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta v}{v}.$$

12. Найти абсолютную погрешность в определении плотности вещества $\Delta \rho = \varepsilon_\rho \cdot \rho$.

13. Записать окончательный результат в виде $\rho = \langle \rho \rangle \pm \langle \Delta \rho \rangle = \rho \pm \Delta \rho$.

2.3 Лабораторная работа № 3 (2 часа).

Тема: «Определение момента инерции шатуна»

2.3.1 Цель работы: определить момент инерции шатуна

2.3.2 Задачи работы:

1. Научиться применять теорему Штейнера для определения момента инерции тела
2. Изучить методику экспериментального определения момента инерции тел

2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Штатив с отвесом и горизонтальной осью
2. Секундомер
3. Шатун
4. Крючки с нитями

5. Линейка

2.3.4 Описание (ход) работы:

1. Значение массы шатуна выбито на шатуне в граммах. По этому значению вычислить вес шатуна в Ньютонах в положении равновесия.
2. Отметить на шатуне центр тяжести О. Положение центра тяжести определится как точка пересечения отвесной линии с осью симметрии шатуна.
3. Подвесить шатун и, определив время десяти колебаний, найти период колебания шатуна T_B относительно оси, проходящей через точку В (шатун отклоняется от положения равновесия на $3-5^\circ$) $\left(T_B = \frac{t}{10}\right)$.
4. Измерить масштабной линейкой расстояние $r_{BO} = BO$.
5. Вычислить момент инерции шатуна относительно оси, проходящей через точку В (J_B) по формуле (2).
6. Подвесить шатун, и аналогично описанному выше определить период колебаний шатуна (T_A), расстояние $r_{AO} = AO$ и вычислить момент инерции шатуна относительно оси, проходящей через точку А (J_A).
7. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.
8. Вычислить J_O шатуна: $J_O = J_A - r_{AO}^2 m$; $J_O = J_B - r_{BO}^2 m$ для двух положений шатуна и его среднее значение.
9. Найти абсолютную и относительную погрешности вычислений момента инерции шатуна J_O относительно оси, проходящей через центр масс.

2.4 Лабораторная работа № 4 (2 часа).

Тема: «Определение момента инерции диска»

2.4.1 Цель работы: определить момент инерции диска

2.4.2 Задачи работы:

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

2.4.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

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

2.4.4 Описание (ход) работы:

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

- штангенциркуля). Сравнить значения $J_{\text{ср}}$ и J' .
8. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.
 9. Найти абсолютную и относительную погрешности вычисления момента инерции диска.

2.5 Лабораторная работа № 5 (2 часа).

Тема: «Изучение закона сохранения и превращения энергии при движении тела по наклонной плоскости»

2.5.1 Цель работы: экспериментальная проверка закона сохранения и превращения энергии

2.5.2 Задачи работы:

1. Изучить закон сохранения и превращения энергии
2. Изучить составляющие полной механической энергии тел

2.5.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Наклонная плоскость
2. Откидная подставка для определения дальности полета
3. Набор тел
4. Линейка
5. Весы с разновесом

2.5.4 Описание (ход) работы:

1. Взвешиванием определить массу цилиндра.
2. Измерить диаметр штангенциркулем.
3. Вычислить момент инерции цилиндра.
4. Измерить высоту наклонной плоскости.
5. Вычислить предполагаемую скорость цилиндра у основания наклонной плоскости.
6. Поднять цилиндр до верхней точки наклонной плоскости и отпустить, предоставив ему возможность свободно катиться.
7. Измерив линейкой высоту падения цилиндра и дальность полета, определить скорость цилиндра. Высота падения тела измеряется линейкой. Для определения дальности полета на подставку положить лист чистой бумаги и сверху лист копировальной. Место падения определяется по отпечатку.
8. Вместо цилиндра взять шарик и проделать те же измерения и вычисления. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.
9. Сделать вывод

2.6 Лабораторная работа № 6 (2 часа).

Тема: «Изучение деформаций тел»

2.6.1 Цель работы: определение модуля упругости при статическом изгибе

2.6.2 Задачи работы:

1. Изучить закономерности процесса деформации тел
2. Проработать методику экспериментального определения модуля упругости

2.6.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Установка для определения модуля упругости
2. Штангенциркуль

2.6.4 Описание (ход) работы:

1. Положить один из образцов на опоры установки. С помощью винта переместить индикатор так, чтобы он слегка касался образца. Совместить "нуль" шкалы и стрелки у

индикатора и динамометра.

2. Убедившись в том, что головка индикатора и конец стержня динамометра касаются образца, а стрелки приборов указывают на "нуль", осторожно проворачивают винт динамометра так, чтобы сила, действующая на образец, составила 2Н, записывают показания динамометра и индикатора.

Повторить это для 4, 6, 8 и 10 Н.

3. Снимая нагрузку по 2 Н, занести в таблицу показания индикатора при разгрузке.

4. Определить среднюю стрелу прогиба ($\lambda_{\text{ср}}$) для каждой приложенной силы (2,4,6,8,10 Н).

5. Рассчитать модуль упругости по формуле $E = V \frac{F}{\lambda}$, используя рассчитанные значения коэффициента V : для березы $V_1 = 1,13 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$, для лиственницы $V_2 = 2,9 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$, для кедра $V_3 = 4,17 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$.

6. Рассчитать среднее арифметическое значение модуля упругости каждого образца.

7. Построить график зависимости величины деформации λ стержня от силы F . По оси ординат откладывают величину λ , по оси абсцисс F для каждого образца.

2.7 Лабораторная работа № 7 (2 часа).

Тема: «Определение коэффициента вязкости жидкостей методом Стокса»

2.7.1 Цель работы: определить коэффициент вязкости жидкости

2.7.2 Задачи работы:

1. Изучить закономерности различных режимов течения жидкости
2. Проработать методику экспериментального определения вязкости веществ

2.7.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Прибор Стокса
2. Ареометр
3. Пипетка
4. Исследуемая жидкость (масло)

2.7.4 Описание (ход) работы:

Расстояние между метками M и N делают не менее **0,3 м**. Секундомер включается и выключается в момент прохождения шариком верхней и нижней меток.

Опыт повторяют не менее трех раз при одинаковом расстоянии между метками. Плотность воды и плотность масла находят ареометром, а затем сравнивают со значениями в справочнике.

По данным опыта вычисляют коэффициент вязкости η .

Результаты измерений и вычислений занести в таблицу. Сформулировать вывод по данной работе.

2.8 Лабораторная работа № 8 (2 часа).

Тема: «Определение влажности воздуха психрометром»

2.8.1 Цель работы: определить влажность воздуха

2.8.2 Задачи работы:

1. Изучить закономерности процесса испарения жидкостей

2. Изучить методику экспериментального определения влажности воздуха

2.8.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Психрометр

2.8.4 Описание (ход) работы:

1. Снять показания с сухого термометра T_1 . Конец термометра, обмотанного ватой, смачивают водой. После установления термодинамического равновесия (**5-7 минут**) снять показания с термометра T_2 .

2. Результаты измерений и вычислений заносят в таблицу:

3. Определить по вашим данным T_1 и T_2 относительную влажность воздуха и сравнить с вычисленной ранее.

2.9 Лабораторная работа № 9 (2 часа).

Тема: «Определение коэффициента теплового расширения металлов»

2.9.1 Цель работы: определить коэффициент теплового расширения металла

2.9.2 Задачи работы:

1. Рассмотреть закономерности теплового расширения материалов

2. Изучить методику экспериментального определения определить коэффициента теплового расширения материалов

2.9.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Прибор для определения линейного расширения

2. Линейка

3. Нагреватель

4. Индикатор удлинения часового типа

5. Образцы металлов

2.9.4 Описание (ход) работы:

Рабочая установка состоит из нагревателя и прибора для измерения удлинения образцов. В нагреватель входят: электроплитка, колба с водой, резиновые шланги, стакан для сбора конденсата и бронзовая трубка для нагревания стержней. Испытуемые образцы с помощью втулок закрепляются на установке и нагреваются паром, образующимся при кипении воды в колбе.

Прибор для определения удлинения образцов включает в себя чувствительный индикатор часового типа и металлическое основание на котором имеется вертикальные стойки. Стойки имеют углубление для опоры стержня. В пазы вставляется стержень. Индикатор крепится на стойке так, чтобы он упирался в металлическую пластину, закрепленную на стержне.

Начальная длина стержней измеряется линейкой, а их начальная температура t , комнатным термометром. Нагрев продолжается до тех пор, пока стрелка индикатора перестанет перемещаться. Абсолютное удлинение образцов $\Delta l = l_t - l_1$ определяется индикатором.

Конечной температурой нагрева считается температура пара, равная температуре кипящей воды (определяется по таблице).

После каждого опыта трубку необходимо охлаждать холодной водой.

Результаты измерений заносят в таблицу.

Рис. 5. Схема установки опыта (А – нагреватель; В и С – вертикальные стойки; Д - индикатор).

По результатам опытов вычисляют коэффициенты линейного и объемного теплового расширения твердых тел и формулируют вывод по работе.

2.10 Лабораторная работа № 10 (2 часа).

Тема: «Техника безопасности при работе с электрическими цепями»

2.10.1 Цель работы: изучить технику безопасности при работе с электрическими цепями и приборами

2.10.2 Задачи работы:

1. Изучить технику безопасности при работе с электрическими приборами

2.10.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Амперметр
2. Вольтметр
3. Реостат

2.10.4 Описание (ход) работы:

Анализ травматизма при эксплуатации электрических установок показывает, что большинство несчастных случаев происходит вследствие нарушения правил по технике безопасности. Правила по технике безопасности (ПТБ) при эксплуатации электроустановок делятся на ПТБ до 1000 В и выше. В наших лабораториях подводится напряжение до 1000 В.

Установлено, что результат поражения электрическим током зависит от величины тока, его частоты, времени воздействия, индивидуальных свойств организма, а также от пути тока. Сила тока через тело человека при прочих равных условиях в значительной степени определяется величиной электрического сопротивления тела.

Величина сопротивления человеческого тела зависит от состояния наружного кожного покрова, от степени увлажнения кожи, от физиологического состояния организма и т.д. Эта величина может меняться в широких пределах от 1000 Ом до 100 кОм, а иногда, в особенно неблагоприятных условиях, оно снижается до 400-500 Ом. Расчетным принято считать сопротивление 1000 Ом.

Действие электрического тока на человеке может быть: тепловым (ожог), механическим (разрыв тканей, резкие сокращения мышц), химическим (электролиз тканевых и межтканевых жидкостей, крови). Кроме того, проходя через человеческий организм, он может нарушать физиологические процессы и т.д.

2.11 Лабораторная работа № 11 (2 часа).

Тема: «Правила сборки электрических цепей. Электроизмерительные приборы»

2.11.1 Цель работы: изучить правила сборки электрических цепей и работы с электроизмерительными приборами

2.11.2 Задачи работы:

1. Ознакомиться с конструкцией и принципом действия электроизмерительных приборов

2. Рассмотреть правила сборки электрических цепей

2.11.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Амперметр
2. Вольтметр

3. Реостат

2.11.4 Описание (ход) работы:

Занятие является вводным перед выполнением цикла лабораторных работ, связанных со сборкой электрических цепей и проведения электрических измерений.

В начале занятия преподаватель рассказывает конструкцию и принцип действия электроизмерительных приборов, правила сборки электрических цепей, применение реостатов и потенциометров для регулирования значения параметров электрических цепей.

Затем проходит беседа со студентами по рассмотренному материалу.

2.12 Лабораторная работа № 12 (2 часа).

Тема: «Определение емкости конденсатора баллистическим гальванометром»

2.12.1 Цель работы: определить емкость конденсатора

2.12.2 Задачи работы:

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

2. Изучить методику экспериментального определения емкости конденсаторов

2.12.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Баллистический гальванометр

2. Вольтметр

3. Реостат

4. Двойной переключатель

5. Набор конденсаторов

6. Источник тока

7. Выпрямитель

2.12.4 Описание (ход) работы:

1. Собирать схему и включить конденсатор известной емкости (эталон).

2. Устанавливают с помощью потенциометра напряжение 40 В, измеряя его вольтметром.

3. Устанавливают переключатель в положение, при котором конденсатор заряжается.

4. Перекидывают переключатель в положение, при котором конденсатор разряжается через гальванометр.

5. Измеряют отклонение рамки гальванометра по шкале и записывают результат в таблицу.

6. Измеряют отклонение рамки, повышая напряжение на 10 В. Таких измерений делают не менее 5.

7. По данным измерений с эталонным конденсатором определяют заряд, соответствующий определенному отклонению гальванометра по формуле: $q = CU$.

8. Строят градуировочный график, откладывая по оси абсцисс отклонение стрелки n , а по оси ординат – величину заряда q .

9. Переключив провода с конденсатора известной емкости на конденсатор, емкость которого определяется, проделывают все то, что было указано в пунктах 3 - 5. Результаты измерений заносят в таблицу (для определения неизвестной емкости достаточно измерить отклонения стрелки при двух значениях).

10. Зная отклонение, полученное при опыте с конденсатором неизвестной емкости, определяют по графику заряд q неизвестного конденсатора и по известному напряжению находят его емкость C_1 . Полученные результаты заносят в таблицу.

11. Заменяют первый конденсатор неизвестной емкости вторым и проводят измерения с ним C_2 так, как указано в пункте 10.

12. Проводят измерения с обоими конденсаторами, включая их сначала последовательно C' , а потом параллельно C'' .

13. Наблюдение отклонения гальванометра при разрядке конденсаторов, включенных параллельно, необходимо проводить после зарядки небольшим напряжением 60 - 80 В. Если отклонение при этом невелико, то напряжение постепенно увеличивают, добиваясь больших отклонений, но не превышающих градуированных.

14. Для проверки найденных значений емкостей C' и C'' находят значение емкостей по формулам.

2.13 Лабораторная работа № 13 (2 часа).

Тема: «Последовательное и параллельное соединение проводников»

2.13.1 Цель работы: изучить закономерности различных видов соединения проводников

2.13.2 Задачи работы:

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

2.13.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

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

2.13.4 Описание (ход) работы:

Задание 1:

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

Вольтметр подключается параллельно тому участку, где нужно измерить напряжение.

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

Примечание: показания амперметра записывают при отключенном вольтметре.

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

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

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

P_i – мощность, развиваемая на отдельных участках

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

6. Результаты измерений и вычислений записать в таблицу 1.

Задание 2.

1. Собрать схему и измерить общее напряжение и общую силу тока.
2. Измерить силу тока в каждой ветви, включая амперметр в каждую ветвь
3. Составить таблицу для занесения данных и записать в неё результаты измерений, полученные при параллельном соединении проводников (резисторов)
4. Убедиться в том, что при параллельном соединении соблюдаются соотношения $U_o = U_1 + U_2 + U_3$, $I_o = I_1 + I_2 + I_3$

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

5. Составить отчет по работе и сделать выводы.

2.14 Лабораторная работа № 14 (2 часа).

Тема: «Измерение сопротивления с помощью моста Уитстона»

2.14.1 Цель работы: измерить сопротивление проводника

2.14.2 Задачи работы:

1. Ознакомиться с компенсационным методом измерения физических величин
2. Изучить методику экспериментального определения сопротивления проводников

2.14.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Реохорд
2. Лампы
3. Магазин сопротивлений
4. Источник постоянного тока
5. Выключатель
6. Гальванометр
7. Двойной ключ

2.14.4 Описание (ход) работы:

1. Соединить приборы по приведенной схеме. При подсоединении магазина сопротивлений R_0 желательно использовать клеммы «О» и «99999»

2.. Вращая декадные переключатели, подобрать такое сопротивление магазина R_0 , при котором стрелка гальванометра при включении цепи находится в пределах шкалы гальванометра. *Если стрелка выходит за пределы шкалы (заикаливается) – цепь немедленно выключить!* Для кратковременного включения цепи при подборе сопротивления R_0 используется кнопочный выключатель.

Перемещая ползунок реохорда Д, установить стрелку гальванометра в нулевое положение (посередине шкалы). Ток через гальванометр не течёт. Мост находится в равновесии.

3. Снять показания: R_0 – на магазине сопротивлений, ℓ_1 и ℓ_2 – на реохорде.
4. Рассчитать R_x
5. Повторить тоже самое со второй и третьей лампами.
6. Измерить сопротивление цепи R'' при параллельном включении ламп.
7. Измерить сопротивление цепи R' , если лампы включены последовательно
8. Рассчитать теоретические значения общего сопротивления проводников при последовательном и параллельном соединении.

9. Данные измерений и вычислений занести в таблицу.
10. Сравнить $R''_{\text{теор}}$ с $R''_{\text{эксп}}$, $R'_{\text{теор}}$ с $R'_{\text{эксп}}$ и сделать вывод по работе.

2.15 Лабораторная работа № 15 (2 часа).

Тема: «Изучение зависимости сопротивления лампы накаливания от температуры»

2.15.1 Цель работы: определить температурный коэффициент сопротивления вещества

2.15.2 Задачи работы:

1. Снять вольт-амперную характеристику нити накала лампы
2. Выяснить характер изменения сопротивления металлов при изменении температуры

2.15.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Лампы накаливания
2. Потенциометр
3. Амперметр
4. Вольтметр

2.15.4 Описание (ход) работы:

1. Собрать схему, включить в нее лампу накаливания с вольфрамовой нитью.
2. Поставить ползунок (подвижный контакт) потенциометра в положение, чтобы при включении схемы ток через лампу накаливания был бы минимальным.
3. После проверки схемы преподавателем подключить ее к источнику напряжения.
4. Постепенно увеличивая ток в лампе накаливания, снять показания вольтметра и амперметра для 6 – 8 значений напряжения.
5. По формуле определить сопротивление нити накала лампы.
6. Результаты измерений занести в таблицу.
7. Построить графики зависимости силы тока от напряжения и сопротивления нити накала лампы от силы тока $I = f(U)$ и $R = f(I)$
8. Прodelать то же самое для другой лампы.
9. Сделать выводы и ответить на контрольные вопросы.

2.16 Лабораторная работа № 16 (2 часа).

Тема: «Полупроводниковые выпрямители»

2.16.1 Цель работы: изучение осциллограмм переменного и выпрямленного тока

2.16.2 Задачи работы:

1. Ознакомиться с конструкцией и принципом действия диодов
2. Изучить различные схемы выпрямления переменного тока

2.16.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Четыре диода
2. Потенциометр
3. Трансформатор
4. Источник тока

5. Осциллограф

2.16.4 Описание (ход) работы:

1. Ознакомиться с приборами.
 2. Собрать цепи для получения осциллограммы переменного тока
 3. Подготовить осциллограф к работе. Для чего:
 - а) Рукоятки смещение «у» и смещение «х» установить белыми точками вверх.
 - б) Род синхронизации «внеш».
 - в) Развертка 30 Гц.
 - г) Ход работы «усиление»
- Через три минуты после включения на экране появится зеленое пятно, рукояткой «фокус» отрегулировать так, чтобы пятно было круглым и маленьким. Рукоятками смещение «х» смещение «у» расположить пятно в центре экрана.
4. Рукоятку «ход работы» перевести в положение «непрерывная развертка».
 5. Подать на вход осциллографа переменное напряжение. На экране получить прямую горизонтальную линию. Плавным поворотом рукоятки «усиление» по часовой стрелке получить неподвижную кривую переменного тока и зарисовать её в тетради.
 6. Собрать цепь однополупериодного выпрямления
 7. Получить кривую однополупериодного выпрямления (осциллограмму) и зарисовать её.
 8. Собрать цепь двухполупериодного выпрямления
 9. Получить кривую (осциллограмму) двухполупериодного выпрямления. Зарисовать полученную кривую в тетрадь.
 10. Сделать анализ полученных кривых и общий вывод по проделанной работе.

2.17 Лабораторная работа № 17 (2 часа).

Тема: «Измерение индукции магнитного поля постоянного магнита»

2.17.1 Цель работы: определить значение индукции магнитного поля постоянного магнита

2.17.2 Задачи работы:

1. Изучить магнитное поле и его характеристики
2. Рассмотреть методику экспериментального определения значения индукции магнитных полей

2.17.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Магнит
2. Катушка
3. Гальванометр
4. Линейка

2.17.4 Описание (ход) работы:

1. Подготовьте в тетради таблицу для записи результатов измерений и вычислений.
2. Измерьте диаметр D катушки, вычислите площадь S ее поперечного сечения и сосчитайте число N витков в ней. Запишите указанное сопротивление R .
3. Присоедините выводы катушки к зажимам гальванометра. Введите катушку в магнитное поле постоянного магнита, расположив её плоскость перпендикулярно линиям индукции магнитного поля.
4. Быстро удалите магнит и заметьте число делений n , на которое отклоняется стрелка гальванометра по шкале. Повторите опыт ещё четыре раза.

5. Используя измеренные значения Δq и известные значения S, N, R по формуле вычислите индукцию B магнитного поля постоянного магнита для каждого опыта.
6. Определите среднее значение магнитной индукции B_{cp} . Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу.
7. Вычислите абсолютную и относительную погрешности измерений магнитной индукции B .
8. Сделайте вывод о проделанной работе.

2.18 Лабораторная работа № 18 (2 часа).

Тема: «Электромагнитные колебания и волны»

2.18.1 Цель работы: определение частоты генератора ультракоротких волн

методом стоячей электромагнитной волны

2.18.2 Задачи работы:

1. Изучить электромагнитные колебания и их характеристики
2. Изучить электромагнитные волны и их характеристики

2.18.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Генератор УКВ
2. Резонирующий контур и индикатор
3. Приемный диполь с индикатором
4. Диполь-излучатель
5. Двухпроводная линия с индуктивной связью
6. Контактный мостик с индикатором (лампа накаливания)
7. Выпрямитель
8. Соединительные провода

2.18.4 Описание (ход) работы:

1. Собирают электрическую сеть. Генератор должен быть включен через выпрямитель согласно схеме.
2. Проверяют наличие излучения электромагнитных волн резонирующим контуром (резонирующий контур состоит из проволочного витка, конденсатора переменной емкости и патрона с лампочкой). Прибор смонтирован на вертикальном щитке и установлен на подставке.

Для проверки излучения генератором электромагнитных волн резонирующий контур нужно подвести к генератору со стороны пластины из органического стекла на расстоянии примерно 10 см. Лампочка резонирующего контура, если генератор работает, должна загореться.

3. Выключают генератор.
4. Посредством изолирующей планки в горизонтальном положении на генераторе укрепляют развернутый колебательный контур – диполь. Установить приемный диполь, состоящий из 2-х проволочных стержней, вставленных в трубку, концы которых вставлены в зажимы. (К диполю прилагается специальный патрон с лампочкой 6 В, 0,075 А). Диполь должен быть установлен параллельно колебательному контуру – диполю генератора на расстоянии от него примерно 20-30 см.
5. Включают генератор. Лампочка приемного диполя должна загореться.
6. Поворотом диполя убеждаются, что электромагнитные волны поперечны.
7. Выключают генератор.
8. Посредством изолирующей планки с зажимом на генераторе укрепляют в горизонтальном положении диполь двухпроводной линии.
9. Включают генератор и передвигая индикатор по двухпроводной линии определяют по свечению лампочки узлы и пучности напряжения и тока.

10. Измеряют расстояние между ближайшими узлами l и по формуле $\lambda = 2l$ определяют длину волны.
11. Определяют частоту генератора.
12. Составить отчёт о работе и сделать выводы.

2.19 Лабораторная работа № 19 (2 часа).

Тема: «Свободные механические колебания»

2.19.1 Цель работы: изучить колебательное движение, его характеристики и законы

2.19.2 Задачи работы:

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

2.19.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Компьютер с программным обеспечением, необходимым для выполнения работы

2.19.4 Описание (ход) работы:

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

2.20 Лабораторная работа № 20 (2 часа).

Тема: «Изучение микроскопа»

2.20.1 Цель работы: изучить конструкцию и принцип действия микроскопа, используя компьютерную модель

2.20.2 Задачи работы:

1. Ознакомление с оптической схемой микроскопа
2. Моделирование схемы микроскопа из простых линз

2.20.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Компьютер с программным обеспечением, необходимым для выполнения работы

2.20.4 Описание (ход) работы:

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

2.21 Лабораторная работа № 21 (2 часа).

Тема: «Изучение интерференции»

2.21.1 Цель работы: изучение явления интерференции, используя компьютерную модель

2.21.2 Задачи работы:

1. Ознакомление со схемами, позволяющими исследовать явление интерференции
2. Экспериментальное исследование закономерностей взаимодействия световых лучей от двух источников

2.21.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Компьютер с программным обеспечением, необходимым для выполнения работы

2.21.4 Описание (ход) работы:

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

2.22 Лабораторная работа № 22 (2 часа).

Тема: «Изучение дифракции»

2.22.1 Цель работы: изучение явления дифракции, используя компьютерную модель

2.22.2 Задачи работы:

1. Ознакомление со схемами, позволяющими исследовать явление дифракции
2. Экспериментальное исследование закономерностей взаимодействия световых лучей с периодической структурой (дифракционной решеткой)

2.22.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Компьютер с программным обеспечением, необходимым для выполнения работы

2.22.4 Описание (ход) работы:

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

2.23 Лабораторная работа № 23 (2 часа).

Тема: «Внешний фотоэффект»

2.23.1 Цель работы: изучение явления фотоэффекта, используя компьютерную модель

2.23.2 Задачи работы:

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

2.23.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Компьютер с программным обеспечением, необходимым для выполнения работы

2.23.4 Описание (ход) работы:

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

2.24 Лабораторная работа № 24 (2 часа).

Тема: «Эффект Комптона»

2.24.1 Цель работы: изучение эффекта Комптона, используя компьютерную модель

2.24.2 Задачи работы:

1. Знакомство с моделями электромагнитного излучения и их использованием при анализе процесса рассеяния рентгеновского излучения в веществе
2. Экспериментальное исследование закономерностей эффекта Комптона

2.24.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Компьютер с программным обеспечением, необходимым для выполнения работы

2.24.4 Описание (ход) работы:

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

2.25 Лабораторная работа № 25 (2 часа).

Тема: «Прохождение электромагнитного излучения через вещество»

2.25.1 Цель работы: исследование с помощью компьютерного эксперимента

процессов и закономерностей взаимодействия электромагнитного излучения с веществом

2.25.2 Задачи работы:

1. Исследование процесса поглощения электромагнитного излучения при распространении в активной среде

2. Исследование процесса усиления электромагнитного излучения при распространении в активной среде

2.25.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Компьютер с программным обеспечением, необходимым для выполнения работы

2.25.4 Описание (ход) работы:

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

2.26 Лабораторная работа № 26 (2 часа).

Тема: «Спектр излучения водорода»

2.26.1 Цель работы: исследование закономерностей излучения атомов

2.26.2 Задачи работы:

1. Знакомство с планетарной и квантовой моделями атома при моделировании процесса испускания электромагнитного излучения

2. Экспериментальное подтверждение закономерностей формирования линейчатого спектра излучения атомарного водорода

2.26.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Компьютер с программным обеспечением, необходимым для выполнения работы

2.26.4 Описание (ход) работы:

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

2.27 Лабораторная работа № 27 (2 часа).

Тема: «Ядра атомов»

2.27.1 Цель работы: исследование структуры атомных ядер

2.27.2 Задачи работы:

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

2.27.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Компьютер с программным обеспечением, необходимым для выполнения работы

2.27.4 Описание (ход) работы:

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