

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Амурский государственный университет»
Кафедра физики**

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ
«ФИЗИКА»**

Основной образовательной программы по специальности
280101.65 – «Безопасность жизнедеятельности в техносфере»

Благовещенск 2012

УМКД разработан канд. физ. – мат. наук, доцентом Ульянычевой Верой Федоровной

Рассмотрен на заседании кафедры физики

Протокол заседания кафедры № _____ от « ____ » _____ 20__ г.

Зав. кафедрой _____ / _____ /
(подпись) (фамилия, имя, отчество)

СОГЛАСОВАНО:

Протокол заседания УМСС _____

№ _____ от « ____ » _____ 20__ г.

Председатель УМСС _____ / _____ /
(подпись) (фамилия, имя, отчество)

Содержание УМКД:

I. Методический раздел	4
1.1. Аннотация дисциплины	4
1.2. Рабочая учебная программа дисциплины	5
1.3. Методические рекомендации для преподавателя	47
1.4. Методические рекомендации студентам по самостоятельному изучению дисциплины	49
1.4.1. Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям	49
1.4.2. Методические рекомендации по подготовке и выполнению лабораторного практикума	50
II. Обучающий раздел	52
2.1. Курс лекций	52
2.2. Учебные пособия	196
2.3. Темы практических занятий с примерами упражнений и задач	197
2.4. Сборники задач с методикой и вариантами их решения	198
2.5. Технические средства обучения, наглядные пособия	198
2.6. Электронные обучающие средства	198
III. Контролирующий раздел	199
3.1. Вопросы для самоконтроля	199
3.2. Тестовые задания для текущего и рубежного контроля	199
3.3. Задания для контрольных работ	230
3.4. Вопросы для подготовки к экзамену	233
3.5. Экзаменационные билеты	234

I. МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1. Аннотация дисциплины

Курс физики совместно с курсами высшей математики теоретической механики составляет основу теоретической подготовки инженеров и играет роль фундаментальной физико-математической базы, без которой невозможна успешная деятельность инженера любого профиля. Курс физики представляет собой единое целое. Изучение целостного курса физики способствует формированию у студентов научного мировоззрения и современного физического мышления.

Инженер должен: иметь представление: - о Вселенной в целом как физическом объекте и ее эволюции;

- о фундаментальном единстве естественных наук, незавершенности естествознания и возможности его дальнейшего развития;

- о дискретности и непрерывности в природе;

- о соотношении порядка и беспорядка в природе, упорядоченности строения объектов, переходах в неупорядоченное состояние и наоборот;

- о динамических и статистических закономерностях в природе;

- о вероятности как объективной характеристике природных систем;

- об измерениях и их специфичности в различных разделах естествознания;

- о фундаментальных константах естествознания;

- о принципах симметрии и законах сохранения;

- о соотношениях эмпирического и теоретического в познании;

- о состояниях в природе и их изменениях со временем;

- об индивидуальном и коллективном поведении объектов в природе;

- о времени в естествознании.

Задачи, которые ставятся при изучении физики, многообразны. Важнейшие из них состоят в

- изучении основных физических явлений;

- овладении фундаментальными понятиями, законами и теоремами классической и современной физики, а также методами физического исследования;

- овладении приемами и методами решения конкретных задач из различных областей физики;

- ознакомлении с современной научной аппаратурой, формировании навыков проведения физического эксперимента;

- умении выделить конкретное физическое содержание в прикладных задачах будущей специальности.

1.2. Рабочая учебная программа дисциплины

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Физика» являются:

1. Представить физическую теорию как обобщение наблюдений, практического опыта и эксперимента. Показать, что физическая теория выражает связи между физическими явлениями и величинами в математической форме.

2. Ознакомить студента с основными физическими явлениями, методами их наблюдения и экспериментального исследования, с главными методами точного измерения физических величин, с методами обработки и анализа результатов эксперимента, с основными физическими приборами, с простейшими методами использования ЭВМ для обработки результатов эксперимента.

3. Сформировать у студента ясное представление о границах применимости физических моделей и гипотез.

Задачи дисциплины:

1. Изучение фундаментальных физических законов, теорий, методов классической и современной физики. Формирование научного мировоззрения.

2. Формирование навыков владения основными приемами и методами решения прикладных практических задач в различных областях физического знания.

3. Формирование навыков проведения научных исследований, ознакомление с современной научной аппаратурой. Овладение методами наблюдения и измерения физических величин, способами статистической обработки экспериментальных данных.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО

Дисциплина «Физика» входит в цикл общих математических и естественнонаучных дисциплин и является федеральным компонентом (ЕН.Ф.03).

Инженерные дисциплины изучаются на основе знаний по физике.

Для освоения дисциплины необходимо знать: действия над векторами, включая понятия скалярного и векторного произведения, основы дифференцирования, интегрирования, понятие логарифма, тригонометрических функций.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

1. Знать: основные законы физики, основные методы наблюдения, измерения и экспериментирования, что достигается в ходе выполнения лабораторных работ в общем физическом практикуме.

2. Уметь: понимать, излагать и критически анализировать базовую физическую информацию; выявлять физическую сущность явлений и процессов в устройствах различной физической природы и выполнять применительно к ним необходимые технические расчеты; пользоваться основными понятиями, моделями, законами для объяснения наблюдаемых физических явлений.

3. Владеть: инструментарием для решения физических задач в своей предметной области; методами анализа физических явлений в технических устройствах и системах; методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации (в том числе, с применением компьютерной техники и информационных технологий).

3. СТАНДАРТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ

Физические основы механики: понятие состояния в классической механике, уравнения движения, законы сохранения, основы релятивистской механики, принцип относительности в механике, кинематика и динамика твердого тела, жидкостей и газов.

Электричество и магнетизм: электростатика и магнитостатика в вакууме и веществе, уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме, материальные уравнения, квазистационарные токи, принцип относительности в электродинамике; физика колебаний и волн: гармонический и ангармонический осциллятор, физический смысл спектрального разложения, кинетика волновых процессов, нормальные волны, интерференция и дифракция волн, элементы Фурье оптики.

Молекулярная физика и термодинамика: молекулярно-кинетическая теория газов, основы термодинамики, реальные газы.

Квантовая физика: корпускулярно-волновой дуализм, принцип неопределенности, квантовые состояния, принцип суперпозиции, квантовые уравнения движения, операторы физических величин, энергетический спектр атомов и молекул, природа химической связи.

Статистическая физика и термодинамика: три начала термодинамики, фазовые равновесия и фазовые превращения, элементы неравновесной термодинамики, классическая и квантовая статистики, кинетические явления, системы заряженных частиц, конденсированное состояние.

Ядерная физика: основные характеристики ядра, протонно-нейтронная структура ядра, прохождение тяжелых частиц, бета-излучения и гамма-излучения через вещество, общая характеристика радиоактивности, ядерные реакции, нейтроны, искусственная радиоактивность, деление ядер, цепная ядерная реакция, управление реакцией деления, понятие о ядерной энергетике, термоядерные реакции. Элементы теории относительности.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «Физика»

Общая трудоемкость дисциплины составляет 340 часов.

№ п/п	Модуль дисциплины	Виды учебной работы				Формы текущего контроля
		Лекции (час.)	Практические занятия (час.)	Лабораторные раб. (час.)	СРС (час.)	
<i>Семестр 2</i>						
1	Модуль 1 «Физические основы механики»	22	10	10	15	Контроль посещения аудиторной нагрузки. Контролирующий тест по модулю. Расчетно-графические работы №1-№3. Отчеты по выполнению лабораторных работ. Активная работа на практических занятиях. Коллоквиум по модулю 1.

2	Модуль 2 «Молекулярная физика и термодинамика»	14	8	8	6	<p>Контроль посещения аудиторной нагрузки.</p> <p>Контролирующий тест по модулю.</p> <p>Расчетно-графические работы №4, №5.</p> <p>Отчеты по выполнению лабораторных работ.</p> <p>Активная работа на практических занятиях.</p> <p>Контрольная работа по модулям 1 и 2.</p>
Подготовка к экзамену					20	
<i>Семестр 3</i>						
3	Модуль 3 «Электричество и магнетизм»	24	12	14	15	<p>Контроль посещения аудиторной нагрузки.</p> <p>Контролирующий тест по модулю.</p> <p>Расчетно-графические работы №1-№4.</p> <p>Отчеты по выполнению лабораторных работ.</p> <p>Активная рабо-</p>

						та на практических занятиях. Коллоквиум по пунктам 3.1, 3.2, 3.3.
4	Модуль 4 «Физика колебаний и волн»	12	6	4	6	Контроль посещения аудиторной нагрузки. Контролирующий тест по модулю. Расчетно-графическая работа №5. Активная работа на практических занятиях. Контрольная работа по модулям 3 и 4.
Подготовка к экзамену					20	
<i>Семестр 4</i>						
5	Модуль 5 «Оптика»	16	8	12	9	Контроль посещения аудиторной нагрузки. Контролирующий тест по модулю. Расчетно-графические работы №1-№3. Отчеты по выполнению лабораторных работ. Активная рабо-

						та на практических занятиях. Коллоквиум по модулю 5.
6	Модуль 6 «Квантовая физика»	16	6	4	9	Контроль посещения аудиторной нагрузки. Контролирующий тест по модулю. Расчетно-графическая работа №4. Отчеты по выполнению лабораторных работ. Активная работа на практических занятиях.
7	Модуль 7 «Ядерная физика»	4	4	2	4	Контроль посещения аудиторной нагрузки. Контролирующий тест по модулю. Расчетно-графическая работа №5. Отчеты по выполнению лабораторных работ. Активная работа на практических занятиях. Контрольная работа по модулям 5-7.

Подготовка к экзамену	20	
-----------------------	----	--

5 . СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ И ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 ЛЕКЦИИ

Семестр 2

Модуль 1 «Физические основы механики» (22 час)

1.1 Элементы кинематики (2 час):

Механика и ее структура. Физические модели. Виды движения. Кинематическое описание движения. Система отсчета. Понятие состояния в классической механике. Уравнения движения. Траектория, длина пути, вектор перемещения. Скорость. Ускорение. Кинематика твердого тела.

1.2 Динамика материальной точки и системы материальных точек (4 час):

Динамика материальной точки. Законы Ньютона и понятие инерциальной системы отсчета. Понятие массы и силы. Виды сил в механике. Центр масс (центр инерции). Закон движения центра масс (основное уравнение динамики системы материальных точек). Импульс системы материальных точек. Закон сохранения импульса.

1.3 Работа и энергия (4 час):

Работа, энергия, мощность. Консервативные и неконсервативные силы. Кинетическая и потенциальная энергия. Закон сохранения энергии в механике. Удар абсолютно упругих и неупругих тел.

1.4 Динамика твердого тела (4 час):

Момент инерции твердого тела. Кинетическая энергия вращения. Момент силы. Уравнение динамики вращательного движения твердого тела. Момент импульса вращающегося тела. Закон сохранения момента импульса. Деформации твердого тела. Закон Гука.

1.5 Тяготение. Элементы теории поля (2 час):

Гравитация. Закон всемирного тяготения. Поле тяготения и его напряженность. Работа в поле тяготения. Потенциал поля тяготения. Космические скорости. Неинерциальные системы отсчета. Силы инерции.

1.6 Элементы кинематики и динамики жидкостей и газов (2 час):

Давление в жидкости и газе. Уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли. Вязкость. Два режима течения жидкостей. Методы определения вязкости.

1.7 Основы релятивистской механики (4 час):

Принцип относительности в механике. Преобразования Галилея. Закон сложения скоростей. Инварианты преобразования. Постулаты специальной теории относительности Эйнштейна. Преобразования Лоренца. Следствия из преобразований Лоренца. Релятивистский закон сложения скоростей. Релятивистская масса, импульс и энергия.

Модуль 2 «Молекулярная физика и термодинамика» (14 час)

2.1 Молекулярно-кинетическая теория газов (6 час):

Статистический и термодинамический способы описания состояния системы. Термодинамическая система. Температура. Идеальный газ. Законы, описывающие поведение идеальных газов. Уравнение состояния идеального газа. Основные представления кинетической теории. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов. Классические статистики. Закон Максвелла о распределении молекул идеального газа по скоростям. Барометрическая формула. Распределение Больцмана. Элементы неравновесной термодинамики. Кинетические явления. Число столкновений и длина свободного пробега молекул в газах. Явления переноса в термодинамических неравновесных системах. Описание закона диффузии, теплопроводности, внутреннего трения.

2.2 Основы термодинамики (4 час):

Термодинамические процессы. Внутренняя энергия. Число степеней свободы. Первое начало термодинамики. Работа газа при изменении объема. Теплоемкость газа. Теплоемкость при постоянном давлении и постоянном объеме. Формула Майера. Применение первого начала термодинамики к различным изопроцессам. Адиабатический и политропный процессы. Круговой процесс (цикл). КПД цикла. Обратимые и необратимые процессы. Энтропия. Изменение энтропии. Статистическая и термодинамическая энтропия. Закон возрастания энтропии. Второе начало термодинамики. Формулировки второго начала по Кельви-

ну, Клаузиусу. Третье начало термодинамики. Тепловой двигатель и холодильная машина. Теорема Карно. Цикл Карно и его К.П.Д.

2.3 Реальные газы, жидкости и твердые тела (4 час):

Реальные газы. Учет молекулярного взаимодействия. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Фазовые равновесия и превращения. Внутренняя энергия реального газа. Жидкости. Поверхностное натяжение. Ближний и дальний порядок. Смачивание и несмачивание. Избыточное давление. Формула Лапласа. Капиллярные явления. Конденсированное состояние. Типы кристаллических твердых тел. Дефекты структуры. Теплоемкость твердых тел. Изменение агрегатного состояния. Фазовые переходы I и II рода. Диаграмма состояния. Анализ диаграммы состояния.

Семестр 3

Модуль 3 «Электричество и электромагнетизм» (4 час)

3.1 Электростатика в вакууме и веществе (6 час):

Электрический заряд. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона. Электростатическое поле. Напряженность электрического поля. Силовые линии. Принцип суперпозиции электростатических полей. Поток вектора напряженности электрического поля. Теорема Гаусса. Работа электрического поля по перемещению заряда. Циркуляция вектора напряженности электростатического поля. Потенциальный характер электростатического поля. Потенциал электрического поля. Разность потенциалов. Связь между напряженностью и потенциалом. Эквипотенциальные поверхности. Примеры расчета наиболее важных симметричных электростатических полей в вакууме. Типы диэлектриков. Поляризация диэлектриков. Типы поляризации. Поляризованность. Диэлектрическая проницаемость среды. Свободные и связанные заряды. Вектор электрического смещения. Теорема Гаусса для вектора электрического смещения. Условия на границе раздела двух диэлектрических сред. Проводники в электрическом поле. Индуцированные заряды. Емкость. Конденсаторы. Соединения конденсаторов. Энергия системы точечных зарядов, уединенного проводника, конденсатора, электростатического поля.

3.2 Постоянный электрический ток (4 час):

Электрический ток. Сила тока, плотность тока. Условия существования тока в цепи. Сторонние силы. Э.Д.С. и напряжение. Закон Ома в интегральной

и дифференциальной форме для однородного участка цепи. Сопротивление проводников. Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца. Закон Ома для неоднородного участка цепи. Законы Кирхгофа.

3.3 Электрические токи в металлах, вакууме и газах (2 час):

Элементарная классическая теория электропроводности металлов. Работа выхода электронов из металла. Эмиссионные явления и их применение. Ионизация газов. Самостоятельный и несамостоятельный разряд. Плазма и ее свойства.

3.4 Магнитостатика в вакууме (4 час):

Магнитное поле и его характеристики. Рамка с током. Направление магнитного поля. Вектор магнитной индукции. Макро- и микротоки. Закон Био-Савара-Лапласа. Магнитное поле прямолинейного тока, кругового тока. Сила Ампера. Магнитное взаимодействие параллельных токов. Магнитное поле движущегося заряда. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле. Эффект Холла. Циркуляция и поток вектора магнитной индукции. Теорема Гаусса для магнитного поля. Работа по перемещению проводника и контура с током в магнитном поле.

3.5 Магнитостатика в веществе (2 час):

Магнитные моменты электронов и атомов. Магнетики. Типы магнетиков. Намагничивание магнетиков. Внутреннее магнитное поле. Напряженность магнитного поля. Закон полного тока для магнитного поля в веществе. Ферромагнетики и их свойства.

3.6 Электромагнитная индукция (4 час):

Явление электромагнитной индукции. Причины появления Э.Д.С. Закон Фарадея. Правило Ленца. Вихревое электрическое поле. Вращение рамки в магнитном поле. Токи Фуко. Индуктивность. Явление самоиндукции. Токи при замыкании и размыкании цепи. Взаимная индукция. Энергия магнитного поля.

3.7 Электромагнитная теория Максвелла (2 час):

Вихревое электрическое поле. Ток смещения. Уравнения Максвелла в интегральной и дифференциальной форме. Материальные уравнения. Принцип относительности в электродинамике.

Модуль 4 «Физика колебаний и волн» (12 час)

4.1 Механические и электромагнитные колебания (8 час):

Колебания. Виды колебаний. Гармонические колебания и их характеристики. Уравнение гармонических колебаний. Кинетическая, потенциальная, полная энергия. Гармонический осциллятор на примере пружинного, математического, физического маятников и колебательного контура. Ангармонический осциллятор. Векторная диаграмма колебаний. Сложение гармонических колебаний. Сложение гармонических колебаний разной частоты. Биения. Сложение взаимно-перпендикулярных колебаний. Затухающие колебания. Дифференциальное уравнение затухающих колебаний. Вынужденные колебания. Резонанс. Квазистационарные токи. Переменный ток. Резонанс токов и напряжения. Мощность.

4.2 Упругие волны (2 час):

Волновые процессы. Поперечные и продольные волны. Нормальные волны. Кинетика волновых процессов. Физический смысл спектрального разложения. Упругая гармоническая волна. Длина волны. Бегущая волна. Уравнение плоской волны. Фазовая и групповая скорость. Уравнение сферической волны. Волновое уравнение. Интерференция волн. Условия усиления и ослабления волн. Стоячие волны. Эффект Доплера.

4.3 Электромагнитные волны (2 час):

Электромагнитные волны. Дифференциальное уравнение электромагнитной волны, ее энергия и импульс. Шкала электромагнитных волн.

Семестр 4

Модуль 5 «Оптика» (16 час)

5.1 Элементы геометрической и электронной оптики (2 час):

Основные законы оптики. Тонкие линзы. Изображение предметов с помощью линз. Аберрации оптических систем. Элементы электронной оптики.

5.2 Интерференция света (2 час):

Интерференция света. Принцип Гюйгенса. Понятия когерентности и монохроматичности волн. Методы получения когерентных волн (щели Юнга, би-призма, бизеркала Френеля). Расчет интерференционной картины. Интерференция в тонких пленках. Полосы равной толщины и равного наклона. Кольца Ньютона. Просветление оптики.

5.3 Дифракция света (4 час):

Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Зоны Френеля. Свойства зон Френеля. Дифракция Френеля на круглом отверстии, диске. Дифракция Фраунгофера на щели, на дифракционной решетке, на пространственной решетке. Уравнение Вульфа – Брэггов. Элементы Фурье оптики.

5.4 Взаимодействие электромагнитных волн с веществом (2 час):

Дисперсия света. Поглощение света. Эффект Доплера. Излучение Вавилова-Черенкова.

5.5 Поляризация света (2 час):

Поляризация света. Закон Малюса. Способы получения поляризованного света.

5.6 Квантовая природа излучения (4 час):

Квантовая природа излучения. Тепловое излучение. Абсолютно черное тело. Законы теплового излучения (Законны Кирхгофа, Стефана-Больцмана, Вина, Релея-Джинса и Вина). Квантовая гипотеза Планка. Фотоэффект и его законы. Уравнение Эйнштейна. Красная граница. Эффект Комптона. Масса и импульс фотона. Давление света. Корпускулярно-волновой дуализм света.

Модуль 6 «Квантовая физика» (16 час)

6.1 Теория атома водорода по Бору (2 час):

Модели атомов. Линейчатый спектр атома водорода. Спектральные закономерности. Постулаты Бора. Опыты Франка и Герца. Радиус и энергия стационарных орбит.

6.2 Элементы квантовой механики (4 час):

Корпускулярно-волновой дуализм материи. Гипотеза де-Бройля. Длина волны де-Бройля. Принцип неопределенности. Квантовые состояния. Волновая

функция и ее свойства. Принцип суперпозиции. Описание микрочастиц в квантовой механике. Квантовые уравнения движения. Операторы физических величин Уравнение Шредингера (временное и стационарное). Уравнения Шредингера для движения свободной частицы и для движения частицы в прямоугольной потенциальной яме. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект. Линейный гармонический осциллятор в квантовой механике.

6.3 Элементы современной физики атомов и молекул (4 час):

Атом водорода в квантовой механике. Квантовые числа. Правила отбора. Спин электрона. Принцип неразличимости тождественных частиц. Фермионы и бозоны. Принцип Паули. Распределение электронов в атоме по состояниям. Рентгеновские спектры. Молекулы. Природа химической связи. Энергетический спектр атомов и молекул. Поглощение, спонтанное и вынужденное излучения. Оптические квантовые генераторы. Основные элементы генераторов. Характеристики лазерного излучения.

6.4 Элементы квантовой статистики (4 час):

Распределение Ферми-Дирака, Бозе-Эйнштейна. Системы заряженных частиц. Вырожденный электронный газ в металлах. Понятие о квантовой теории теплоемкости. Фононы. Квантовая теория электропроводности металлов. Сверхпроводимость.

6.5 Элементы физики твердого тела (2 час):

Зонная теория проводимости твердых тел. Металлы, полупроводники, диэлектрики. Собственная проводимость полупроводников. Примесная проводимость полупроводников. Фотопроводимость полупроводников. Люминесценция твердых тел. p-n переход.

Модуль 7 «Ядерная физика» (4 час)

7.1 Элементы физики атомного ядра (2 час): Атомное ядро. Протонно-нейтронная структура ядра. Энергия связи, дефект масс. Основные характеристики ядра. Спин ядра и его магнитный момент. Свойства ядерных сил. Модели атомного ядра. Общая характеристика радиоактивности. Закон радиоактивного распада. Правила смещения. Виды распадов. Прохождение тяжелых частиц через вещество. Дозиметрические величины и единицы. Эффект Мессбауэра. Приборы для регистрации радиоактивных излучений и

частиц. Ядерные реакции и их основные типы. Ядерные реакции под действием нейтронов. Деление ядер. Искусственная радиоактивность. Цепная ядерная реакция. Управление реакцией деления. Понятия о ядерной энергетике. Термоядерные реакции. Элементы теории относительности.

7.2 Элементы физики элементарных частиц (2 час):

Элементарные частицы. Классификация элементарных частиц. Частицы и античастицы. Фундаментальные взаимодействия.

5.2 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Лабораторный практикум выполняется по индивидуальному графику бригадами, состоящими из 2-3 студентов. Выполнение лабораторного практикума организуется по циклическому принципу, на каждую работу отводится 2 часа аудиторного времени.

Перед выполнением эксперимента студент должен пройти собеседование с преподавателем и получить допуск к работе. Подготовка к лабораторной работе осуществляется студентом до аудиторных занятий в часы, отведенные на самостоятельную работу.

Для получения зачета по выполненной лабораторной работе студент представляет преподавателю оформленный отчет со всеми необходимыми расчетами и защищает его в ходе последующего собеседования. Оформление отчета и подготовка к защите лабораторной работы осуществляется студентом в часы, отведенные на самостоятельную работу.

Выполнение лабораторных работ и отчет по ним в полном объеме является обязательным условием допуска к экзамену по данной дисциплине.

Семестр 2, [4]

1. Обработка результатов измерений. Измерение линейных размеров и определение плотности твердых тел.
2. Проверка второго закона ньютона на машине Атвуда.
3. Изучение основного закона динамики вращательного движения на маятнике Обербека.
4. Проверка закона сохранения энергии на маятнике Максвелла.
5. Изучение законов сохранения при ударе шаров.
6. Изучение законов сохранения момента импульса и энергии при помо-

щи крутильного маятника.

7. Изучение вынужденной прецессии гироскопа.
8. Определение момента инерции тел при помощи крутильного маятника.
9. Определение модуля Юнга методом Лермантова.
10. Определения коэффициента вязкости жидкости методом Стокса.
11. Определение показателя адиабаты.

Семестр 3, [5]

1. Элементы электрических цепей и электроизмерительные приборы.
2. Исследование электростатического поля.
3. Определение удельного сопротивления металлического проводника.
4. Проверка закона Ома для неоднородного участка цепи.
5. Измерение сопротивления мостовым методом.
6. Исследование КПД источника тока.
7. Изучение работы лампового триода.
8. Исследование сегнетоэлектрических свойств триглицинсульфата.
9. Определение горизонтальной составляющей магнитного поля Земли.
10. Определение удельного заряда электрона методом магнитной фокусировки электронных пучков.
11. Изучение электроннолучевого осциллографа.
12. Исследование процессов намагничивания ферромагнетиков.

Семестр 4, [6,7,8]

1. Определение показателя преломления прозрачной пластинки с помощью микроскопа.
2. Изучение закона Малюса.
3. Определение радиуса кривизны линзы по кольцам Ньютона.
4. Определение длины волны света при помощи дифракционной решетки.
5. Изучение интерференции света на установке с бипризмой Френеля.
6. Изучение сериальных закономерностей в спектре водорода и определение постоянной Ридберга.
7. Определение энергии активации полупроводника.
8. Определение максимальной энергии бета-спектра по толщине слоя половинного ослабления.
9. Статистические законы в ядерной физике.

5.3 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Задания к практическим занятиям формируются на основе задачника [2] и выдаются преподавателем в начале семестра по следующим темам:

Семестр 2

Модуль 1 «Физические основы механики»: Кинематика поступательного и вращательного движения.

Динамика поступательного и вращательного движения. Законы сохранения импульса, энергии, момента импульса. Элементы теории тяготения, механики жидкостей и специальной теории относительности.

Модуль 2 «Молекулярная физика и термодинамика»: Газовые законы. Основы термодинамики.

Семестр 3

Модуль 3 «Электричество и магнетизм»: Закон Кулона. Напряженность электростатического поля. Связь напряженности и потенциала, работа поля. Постоянный ток, мощность тока. Применение правил Кирхгофа к расчету разветвленных цепей. Магнитное поле. Индукция и напряженность магнитного поля. Законы электромагнетизма. Электромагнитная индукция.

Модуль 4 «Физика колебаний и волн»: Механические и электромагнитные колебания и волны.

Семестр 4

Модуль 5 «Оптика»: Интерференция света. Дифракция света. Взаимодействие электромагнитных волн с веществом. Поляризация света.. Квантовая природа излучения.

Модуль 6 «Квантовая физика»: Элементы квантовой механики, физики атомов, молекул и твердого тела.

Модуль 7 «Ядерная физика»: Энергия связи атомного ядра. Закон радиоактивного распада. Ядерные реакции.

6. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

№ п/п	№ раздела (темы) дисциплины	Форма (вид) самостоятельной работы	Трудоемкость в часах
<i>Семестр 2</i>			
1	Модуль 1 «Физические основы механики»	Подготовка отчетов по выполнению лабораторных работ. Конспекты по темам. Выполнение расчетно-графических работ №1- №3. Подготовка к контролируемому тесту по модулю. Подготовка к коллоквиуму по модулю.	15
2	Модуль 2 «Молекулярная физика и термодинамика»	Подготовка отчетов по выполнению лабораторных работ. Конспекты по темам. Выполнение расчетно-графических работ №4, №5. Подготовка к контролируемому тесту по модулю. Подготовка к контрольной работе по модулям 1 и 2.	6
3	Подготовка к экзамену		20
<i>Семестр 3</i>			

4	Модуль 3 «Электричество и магнетизм»	Подготовка отчетов по выполнению лабораторных работ. Конспекты по темам. Выполнение расчетно-графических работ №1- №4. Подготовка к контролируемому тесту по модулю. Подготовка к коллоквиуму по модулю.	15
5	Модуль 4 «Физика колебаний и волн»	Конспекты по темам. Выполнение расчетно-графической работы №5. Подготовка к контролируемому тесту по модулю. Подготовка к контрольной работе по модулю 3 и 4.	6
6	Подготовка к экзамену		20
<i>Семестр 4</i>			
7	Модуль 5 «Оптика»	Подготовка отчетов по выполнению лабораторных работ. Конспекты по темам. Выполнение расчетно-графических работ №1- №3. Подготовка к контролируемому тесту по модулю. Подготовка к коллоквиуму по модулю.	9
8	Модуль 6 «Квантовая физика»	Подготовка отчетов по выполнению лабораторных работ. Конспекты по темам. Выполнение расчетно-графической работы №4.	9

		Подготовка к контролируемому тесту по модулю.	
9	Модуль «Ядерная физика» 7	Подготовка отчетов по выполнению лабораторных работ. Конспекты по темам. Выполнение расчетно-графической работы №5. Подготовка к контролируемому тесту по модулю. Подготовка к контрольной работе по модулю 5-7.	4
10	Подготовка к экзамену		20

Выполнение РГР

Индивидуальное задание представляет собой набор задач по изучаемым темам. Количество задач, их источник и номера определяется преподавателем и сообщается студенту в начале семестра. Все задания выполняются студентом в часы, отведенные на самостоятельную работу, опираясь на изученный теоретический материал, изложенный в лекционном курсе, и проработанный на практических аудиторных занятиях. Индивидуальное задание сдается на проверку по частям (1÷3 задачи) в течение семестра (по мере изучения соответствующих разделов).

Индивидуальное задание зачитывается, если решения не содержат ошибок принципиального характера и выполнены все требования по оформлению.

Незначительные задачи индивидуального задания должны быть выполнены заново и представлены на повторную проверку вместе с первоначальной работой и замечаниями преподавателя. На исправление замечаний отводится недельный срок со дня их выдачи после первой проверки.

7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

7.1. Методы, применяемые в обучении.

При чтении лекций по данной дисциплине используется активный неимитационный метод обучения «проблемная лекция». Перед изучением раздела

обозначается проблема, на решение которой будет направлен весь последующий материал данного раздела. При постановке задачи может использоваться демонстрационный эксперимент.

На практических занятиях используются неигровые имитационные методы обучения «контекстное обучение» и «метод группового решения творческих задач».

При проведении лабораторных занятий используется прием интерактивного обучения «кейс-метод»: студентам выдается задание для подготовки к выполнению лабораторной работы. Перед выполнением работы с преподавателем обсуждается цель работы и ход ее выполнения. На этапе защиты работы студент самостоятельно анализирует достигнутые результаты с разных точек зрения, выдвигает гипотезы и делает выводы, исходя из цели работы.

7.2. Технологии обучения: компетентностно-ориентированное обучение.

7.3. Информационные технологии. При чтении лекций используются мультимедийные презентации, видео-демонстрации.

7.4. Информационные системы. При разработке лекционных и практических занятий используются материалы электронных библиотек и электронные базы учебно-методических ресурсов, указанных в п.10в. настоящей программы, а также электронный ресурс библиотеки АмГУ (<http://www.biblio@amursu.ru/>). Перечисленные электронные ресурсы также рекомендуются для самоподготовки студентов.

7.5. Инновационные методы контроля: компьютерное интернет-тестирование, балльно-рейтинговая система оценки деятельности студентов.

8. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

8.1 Расчетно-графические работы

В одном семестре предполагается выполнение пяти расчетно-графических работ по соответствующим модулям. РГР зачитывается при условии правильного выполнения всех задач.

8.2 Коллоквиум

Коллоквиум проводится в устной форме по окончании лекционного материала по модулю. Вопросами коллоквиума являются часть зачетных (экзаменационных) вопросов.

8.3 Контролирующий тест

Контролирующий тест проводится по темам соответствующих модулей. В каждом тестовом задании от 7 до 10 заданий. Тест выявляет теоретические знания, практические умения и аналитические способности студентов.

8.4 Контрольная работа

Контрольная работа выполняется в конце семестра по всем пройденным модулям семестра. В контрольной работе содержится четыре задачи. Контрольная работа направлена на проверку умений студентов применять полученные теоретические знания в отношении определенной конкретной задачи.

8.5 Подготовка конспектов по темам на самостоятельное изучение

Семестр 2

Модуль 1 «Физические основы механики»: Свободные оси. Гироскоп. Формула Пуазейля. Напряжение в упругодеформированном теле. Закон Гука. Растяжение и сжатие стержней. Диаграмма напряжений.

Модуль 2 «Молекулярная физика и термодинамика»: Барометрическая формула. Опыт Штерна. Элементы кристаллографии. Влияние типа связи на структуру и свойства кристаллов.

Семестр 3

Модуль 3 «Электричество и магнетизм»: Типы газовых разрядов. Понятие о плазме. Магнитное поле соленоида и тороида. Вихревые токи. Магнитные и магнитотвердые материалы. Применение ферромагнетиков.

Модуль 4 «Физика колебаний и волн»: Стоячие волны. Звуковые волны.

Семестр 4

Модуль 5 «Оптика»: Основные законы оптики. Тонкие линзы. Изображение предметов с помощью линз. Аберрации оптических систем. Элементы электронной оптики.

Модуль 6 «Квантовая физика»: Рентгеновские спектры. Молекулы. Химические связи. Молекулярные спектры. Поглощение, спонтанное и вынужденное излучения. Оптические квантовые генераторы. Основные элементы генераторов. Характеристики лазерного излучения. Вырожденный электронный газ в металлах. Понятие о квантовой теории теплоемкости. Фононы. Квантовая теория электропроводности металлов. Сверхпроводимость. Люминесценция твердых тел. p-n переход.

Модуль 7 «Ядерная физика»: Эффект Мессбауэра. Ядерные реакторы.

8.6 Вопросы для самопроверки

1. Физические основы механики

1. Что называется материальной точкой? Почему в механике вводят такую модель?
2. Что такое система отсчета?
3. Что такое вектор перемещения? Всегда ли модуль вектора перемещения равен отрезку пути, пройденному точкой?
4. Какое движение называется поступательным?
5. Дайте определения векторов средней скорости и среднего ускорения, мгновенной скорости и мгновенного ускорения. Каковы их направления?
6. Дайте определения скорости и ускорения при криволинейном движении.
7. Что характеризуют тангенциальная и нормальная составляющие ускорения? Как направлены эти ускорения и чему они численно равны?
8. Что называется угловой скоростью, угловым ускорением? Как определяются их направления?
9. Какова связь между линейными и угловыми величинами?
10. Какая система отсчета называется инерциальной? Почему система отсчета, связанная с Землей, строго говоря, неинерциальна?
11. Что называется массой тела? Что такое сила?
12. Сформулируйте три закона Ньютона. В каких системах отсчета они справедливы? Какова взаимосвязь между этими законами?
13. В чем заключается принцип независимости действия сил?
14. Какова физическая сущность трения? В чем отличие сухого трения от

жидкого?

15. Что называется механической системой? Какие системы называются замкнутыми?

16. В чем состоит закон сохранения импульса? В каких системах он выполняется? Почему он является фундаментальным законом природы?

17. Что называется центром масс системы материальных точек? Как движется центр масс замкнутой системы?

18. Как могут двигаться друг относительно друга инерциальные системы отсчета? Напишите преобразования Галилея. В чем состоит механический принцип относительности?

19. В чем различие между понятиями энергии и работы?

20. Что такое мощность? Вывести ее формулу.

21. Почему изменение потенциальной энергии обусловлено только работой консервативных сил?

22. В чем физическая сущность закона сохранения и превращения энергии?

23. Чем отличается абсолютно упругий удар от абсолютно неупругого?

24. Что является моментом инерции точки, тела?

25. Какова роль момента инерции во вращательном движении?

26. Какова кинетическая энергия тела, вращающегося вокруг неподвижной оси?

27. Что называется моментом силы тела относительно неподвижной точки? Относительно неподвижной оси? Как определяется направление момента силы?

28. Что такое момент импульса материальной точки? Твердого тела? Как определяется направление момента импульса?

29. Какова связь моментов силы и импульса?

30. В чем заключается физическая сущность закона сохранения момента импульса? В каких системах он выполняется? Приведите примеры.

31. Сопоставьте основные уравнения динамики поступательного и вращательного движений.

32. Что такое свободные оси (главные оси инерции)?

33. Что такое гироскоп? Каковы его основные свойства?

34. Сформулируйте закон Гука. Когда он справедлив?

35. Каков физический смысл модуля Юнга?

36. Что такое вес тела? В чем отличие веса тела от силы тяжести?

37. Как объяснить возникновение невесомости при свободном падении?

38. Сформулируйте законы Паскаля и Архимеда.

39. Какой закон выражает уравнение Бернулли для идеальной несжимаемой жидкости?

40. Что такое градиент скорости?

41. Каков физический смысл коэффициента динамической вязкости?
42. Запишите преобразования Лоренца. При каких условиях они переходят в преобразования Галилея?
43. Как выражается кинетическая энергия в релятивистской механике? При каком условии релятивистская формула для кинетической энергии переходит в классическую?
44. Сформулируйте и запишите закон взаимосвязи массы и энергии. В чем его физическая сущность?

2. Молекулярная физика и термодинамика

1. Что такое термодинамические параметры? Какие термодинамические параметры вам известны?
2. Какие газы называются идеальными? Сформулируйте основные законы идеальных газов.
3. Каков физический смысл постоянной Авогадро?
4. В чем содержание и цель основного уравнения молекулярно-кинетической теории газов?
5. В чем суть закона о равномерном распределении энергии по степеням свободы молекулы?
6. Почему колебательная степень свободы обладает вдвое большей энергией, чем поступательная и вращательная?
7. Что такое внутренняя энергия для идеального газа? Какими параметрами она определяется? Как меняется внутренняя энергия в результате различных процессов?
8. В чем сходство и в чем различие между понятиями «теплота» и «работа»?
9. Что такое теплоемкость газа, вещества? Запишите основные виды теплоемкостей газа. Какая из теплоемкостей – C_V или C_P – больше и почему? Выведите уравнение Майера для одного моля идеального газа.
10. Чему равна работа изобарного расширения моля идеального газа при нагревании на 1 К?
11. Чему равна работа изотермического расширения моля идеального газа?
12. Сформулируйте первое начало термодинамики и примените его к различным изопротессам в газах.
13. Нагревается или охлаждается идеальный газ, если он расширяется при постоянном давлении?
14. Какой процесс называется адиабатическим? Выведите уравнение Пуассона.
15. Как изменяется температура газа при его адиабатическом сжатии? Почему адиабата более крута, чем изотерма?

16. Чем отличаются обратимые и необратимые процессы? Почему все реальные процессы необратимы?

17. Дайте определение второго начала термодинамики. Каков его физический смысл?

18. Идеальная тепловая машина. Покажите графически цикл Карно в переменных P , V . Какой площадью определяется: 1) работа, совершенная над газом; 2) работа, совершенная самим расширяющимся газом?

19. Дайте понятие энтропии (определение, размерность, математическое выражение).

20. В каком направлении может изменяться энтропия замкнутой системы, незамкнутой?

21. Каков статистический смысл энтропии? Как энтропия зависит от состояния системы?

22. Каков физический смысл функции распределения молекул по скоростям, по энергиям?

23. В чем суть распределения Больцмана?

24. Как изменится средняя длина свободного пробега молекул с увеличением давления?

25. В чем сущность явлений переноса? При каких условиях они возникают?

26. От каких величин зависит диффузия газов?

27. Чем отличаются реальные газы от идеальных? Начертите кривую, выражающую характер зависимости сил взаимодействия и взаимной потенциальной энергии двух молекул от расстояния между ними.

28. Начертите и объясните изотермы реального газа. Как уравнение Ван-дер-Ваальса описывает процесс фазового перехода вещества из жидкого состояния в газообразное?

3. Электричество

1. Какие существуют элементарные заряды? Какой заряд называется точечным?

2. В чем заключается закон сохранения заряда? Приведите примеры проявления этого закона.

3. Как доказать на опыте, что шелк при трении о стекло электризуется и притом отрицательно?

4. Сформулируйте, запишите закон Кулона.

5. Какие поля называются электростатическими?

6. Что называется напряженностью электростатического поля? Каково направление вектора напряженности E ? Какая единица напряженности в СИ?

7. Начертите силовые линии точечного отрицательного заряда и укажите их направление.

8. Что такое электрический диполь? Как направлено плечо диполя?
9. В чем заключается физический смысл теоремы Гаусса для электростатического поля в вакууме?
10. Что такое линейная, поверхностная, объемная плотности зарядов?
11. Как доказать, что электростатическое поле является потенциальным?
12. Что называется циркуляцией вектора напряженности?
13. Дайте определения потенциала данной точки поля и разности потенциалов двух точек поля. Каковы их единицы?
14. Нарисуйте приблизительный вид эквипотенциальных поверхностей и силовых линий поля возле положительного точечного заряда, помещенного над земной поверхностью.
15. Какова связь между напряженностью и потенциалом? Выведите ее и объясните. Каков физический смысл?
16. Чему равна работа по перемещению заряда вдоль эквипотенциальной поверхности?
17. Каковы напряженность и потенциал поля, а также распределение зарядов внутри и на поверхности заряженного проводника?
18. Что называется электроемкостью уединенного проводника?
19. Что называется конденсатором? Чему равна электроемкость плоского конденсатора?
20. Получите формулы для энергии заряженного конденсатора, выражаемые через заряд на обкладках конденсатора и через напряженность поля.
21. В чем различие поляризации диэлектриков с полярными и неполярными молекулами?
22. Как определяется вектор электрического смещения? Что он характеризует?
23. Сформулируйте теорему Гаусса для электростатического поля в диэлектрике.
24. Что называется силой тока? Плотностью тока? Каковы их единицы?
25. Назовите условия возникновения и существования электрического тока.
26. Что такое сторонние силы? Какова их природа?
27. В чем заключается физический смысл электродвижущей силы, действующей в цепи? Напряжения? Разности потенциалов?
28. Какова связь между сопротивлением и проводимостью, удельным сопротивлением и удельной проводимостью? Каковы их единицы?
29. На чем основано действие термометров сопротивления?
30. Проанализируйте обобщенный закон Ома. Какие частные законы можно из него получить?

31. Сравните порядок средних скоростей теплового и упорядоченного движения электронов в металлах.

32. Выведите на основе классической теории электропроводности металлов дифференциальную форму законов Ома и Джоуля – Ленца.

33. Как классическая теория электропроводности металлов объясняет зависимость сопротивления металлов от температуры?

34. В чем заключаются трудности элементарной классической теории электропроводности металлов? Каковы границы ее применения?

35. Что называется работой выхода электрона и чем она обусловлена? От чего она зависит?

4. Магнетизм

1. Чему равен и как направлен магнитный момент рамки с током?

2. Что называется индукцией магнитного поля? Как определяют направление вектора магнитной индукции B ?

3. Нарисуйте и покажите, как ориентированы линии магнитной индукции поля прямого тока?

4. Что такое линии магнитной индукции? Как определяется их направление? Чем они отличаются от линий напряженности электростатического поля?

5. Почему магнитное поле является вихревым?

6. Записав закон Био – Савара – Лапласа, объясните его физический смысл.

7. Найдите выражение для силы взаимодействия двух бесконечных прямолинейных одинаковых токов противоположного направления. Начертите рисунок с указанием сил.

8. Назовите единицы магнитной индукции и напряженности магнитного поля. Дайте их определения.

9. Почему движущийся заряд по своим магнитным свойствам эквивалентен элементу тока?

10. Чему равна и как направлена сила, действующая на отрицательный электрический заряд, движущийся в магнитном поле?

11. Чему равна работа силы Лоренца при движении протона в магнитном поле? Ответ обосновать.

12. Когда заряженная частица движется в магнитном поле по спирали? От чего зависит шаг спирали? (Ответы подтвердите выводами формул.)

13. ?

14. Что называют потоком вектора магнитной индукции? Запишите теорему Гаусса для магнитного поля, объяснив ее физический смысл.

15. Какая физическая величина выражается в веберах? Дайте определение вебера.

16. Чему равна работа по перемещению проводника с током в магнитном поле? замкнутого контура с током? Выведите эти формулы; чем они принципиально отличаются?
17. В чем заключается явление электромагнитной индукции? Проанализируйте опыты Фарадея.
18. Что является причиной возникновения э.д.с. индукции в замкнутом проводящем контуре? От чего и как зависит э.д.с. индукции, возникающая в контуре?
19. Сформулируйте правило Ленца, проиллюстрировав его примерами.
20. Возникает ли индукционный ток в проводящей рамке, поступательно движущейся в однородном магнитном поле?
21. Покажите, что закон Фарадея есть следствие закона сохранения энергии.
22. Какова природа э.д.с. электромагнитной индукции?
23. Что такое вихревые токи? Вредны они или полезны?
24. В чем заключаются явления самоиндукции и взаимной индукции? Вычислите э.д.с. индукции для обоих случаев.
25. Когда э.д.с. самоиндукции больше – при замыкании или размыкании цепи постоянного тока?
26. Какая физическая величина выражается в генри? Дайте определение генри.
27. В чем заключается физический смысл индуктивности контура? взаимной индуктивности двух контуров? От чего они зависят?
28. Запишите и проанализируйте выражения для объемной плотности энергии электростатического и магнитного полей. Чему равна объемная плотность энергии электромагнитного поля?
29. Почему орбитальный магнитный и механический моменты электрона в атоме противоположно направлены?
30. Из каких магнитных моментов складывается магнитный момент атома?
31. Что такое диамагнетики? парамагнетики? В чем различие их магнитных свойств?
32. Что такое намагниченность? Какая величина может служить аналогом в электростатике?
33. Выведите связь между векторами магнитной индукции, напряженности магнитного поля и намагниченности.
34. Объясните петлю гистерезиса ферромагнетика. Что такое магнитострикция?
35. Какие ферромагнетики являются магнитомягкими? магнитожесткими? Где их применяют?
36. Каков механизм намагничения ферромагнетиков?

37. Какую температуру для ферромагнетика называют точкой Кюри?
38. Что является причиной возникновения вихревого электрического поля? Чем оно отличается от электростатического поля?
39. В каком смысле можно сравнивать ток смещения и ток проводимости?
40. Запишите полную систему уравнений Максвелла в интегральной и дифференциальной формах и объясните их физический смысл.
41. Почему уравнения Максвелла в интегральной форме являются более общими?
42. Какие основные выводы можно сделать на основе теории Максвелла?

5. Волновые процессы

1. Что такое колебания? свободные колебания? гармонические колебания? периодические процессы?
2. Дайте определения амплитуды, фазы, периода, частоты, циклической частоты колебания.
3. Выведите формулу для скорости и ускорения гармонически колеблющейся точки как функции времени.
4. Выведите и прокомментируйте формулы для кинетической, потенциальной и полной энергии при гармонических колебаниях.
5. От чего зависит амплитуда вынужденных колебаний? Запишите выражение для амплитуды и фазы при резонансе.
6. Как объяснить распространение колебаний в упругой среде? Что такое волна?
7. Что называется поперечной волной? продольной? Когда они возникают?
8. Что называется длиной волны? Какова связь между длиной волны, скоростью и периодом?
9. Какая волна является бегущей, гармонической, плоской, сферической? Каковы их уравнения?
10. Что такое волновое число? фазовая и групповая скорости?
11. В чем заключается физический смысл вектора Умова?
12. При каких условиях возникает интерференция волн? Назовите условия интерференционных максимума и минимума.
13. Чем стоячая волна отличается от бегущей?
14. Чему равно расстояние между двумя соседними узлами стоячей волны? двумя соседними пучностями? соседними пучностью и узлом?
15. Что такое звуковые волны? Звуковые волны в воздухе продольные или поперечные? Почему?

16. Что такое электромагнитная волна? Какова скорость ее распространения?
17. Что может служить источником электромагнитных волн?
18. В чем заключается физический смысл абсолютного показателя преломления среды? Что такое относительный показатель преломления?
19. При каком условии наблюдается полное отражение?
20. Как осуществляется построение изображения предметов в линзах?
21. Каковы основные положения и выводы корпускулярной и волновой теорий света? Почему возникло представление о двойственной корпускулярно-волновой природе света?
22. Какую величину называют временем когерентности? длиной когерентности? Какова связь между ними?
23. Для чего вводятся понятия временной и пространственной когерентностей?
24. Что такое оптическая длина пути? оптическая разность хода?
25. Что такое полосы равной толщины и равного наклона? Где они локализованы?
26. Почему центр колец Ньютона, наблюдаемых в проходящем свете, обычно светлый?
27. В чем заключается принцип построения зон Френеля?
28. Когда наблюдается дифракция Френеля? дифракция Фраунгофера?
29. Почему дифракция не наблюдается на больших отверстиях и больших дисках?
30. Почему при использовании белого света только центральный максимум белый, а боковые максимумы радужно окрашены?
31. Почему штрихи на дифракционной решетке должны быть тесно расположены друг к другу? Почему их должно быть большее число?
32. Почему на кристаллах не наблюдается дифракция видимого света и наблюдается дифракция рентгеновского излучения?
33. Какие практические применения имеет формула Вульфа – Брэггов?
34. Что называется естественным светом? плоскополяризованным светом? частично поляризованным светом? эллиптически поляризованным светом?
35. Покажите, что при выполнении закона Брюстера отраженный и преломленный лучи взаимно перпендикулярны.
36. В чем заключается диалектическое единство корпускулярных и волновых свойств электромагнитного излучения?

6. Элементы квантовой физики

1. Почему из различных серий спектральных линий атома водорода первой была изучена серия Бальмера?

2. Какой смысл имеют числа m и n в обобщенной формуле Бальмера?
3. Разъясните смысл постулатов Бора. Как с их помощью объясняется линейчатый спектр атома?
4. Какие основные выводы можно сделать на основании опытов Франка и Герца?
5. Что определяет квадрат модуля волновой функции?
6. Что характеризуют квантовые числа: главное, орбитальное и магнитное? Какие значения они могут принимать?
7. Как на основе понятий квантовой теории электропроводности металлов объяснить зависимость удельной проводимости от температуры?
8. Чем отличаются энергетические состояния электронов в изолированном атоме и кристалле? Что такое запрещенные и разрешенные энергетические зоны?
9. Чем отличаются по зонной теории полупроводники и диэлектрики? металлы и диэлектрики?
10. Когда по зонной теории твердое тело является проводником электрического тока?
11. Как объяснить увеличение проводимости полупроводников с повышением температуры?
12. Чем обусловлена проводимость собственных полупроводников?
13. Каков механизм электронной примесной проводимости полупроводников? дырочной примесной проводимости?
14. Почему при достаточно высоких температурах в примесных полупроводниках преобладает собственная проводимость?
15. Каков механизм собственной фотопроводимости? примесной фотопроводимости? Что такое красная граница фотопроводимости?
16. Каковы по зонной теории механизмы возникновения флуоресценции и фосфоресценции?
17. В чем причины возникновения контактной разности потенциалов?

8.7 Экзаменационные вопросы (семестр 2)

1. Механика и ее структура. Физические модели. Виды движения. Кинематическое описание движения. Система отсчета. Траектория, длина пути, вектор перемещения. Скорость. Ускорение. Кинематика вращательного движения.
2. Динамика материальной точки и поступательного движения: Динамика материальной точки. Законы Ньютона и понятие инерциальной системы отсчета. Понятие массы и силы. Виды сил в механике.

3. Центр масс (центр инерции). Закон движения центра масс (основное уравнение динамики системы материальных точек). Импульс системы материальных точек. Закон сохранения импульса.
4. Работа и энергия: Работа, энергия, мощность.
5. Консервативные и неконсервативные силы. Кинетическая и потенциальная энергия. Закон сохранения энергии в механике.
6. Удар абсолютно упругих и неупругих тел.
7. Механика твердого тела: Момент инерции твердого тела. Кинетическая энергия вращения.
8. Момент силы. Уравнение динамики вращательного движения твердого тела. Момент импульса вращающегося тела. Закон сохранения момента импульса.
9. Деформации твердого тела. Закон Гука.
10. Тяготение. Элементы теории поля: Гравитация. Закон всемирного тяготения.
11. Поле тяготения и его напряженность. Работа в поле тяготения. Потенциал поля тяготения. Космические скорости.
12. Неинерциальные системы отсчета. Силы инерции.
13. Элементы механики жидкостей: Давление в жидкости и газе. Уравнение неразрывности. Уравнение Бернулли.
14. Вязкость. Два режима течения жидкостей. Методы определения вязкости.
15. Элементы теории относительности: Принцип относительности в механике Галилея. Преобразования Галилея. Закон сложения скоростей. Инварианты преобразования.
16. Постулаты специальной теории относительности Эйнштейна. Преобразования Лоренца. Следствия из преобразований Лоренца. Релятивистский закон сложения скоростей. Релятивистская масса, импульс и энергия.
17. Молекулярно-кинетическая теория идеальных газов: Статистический и термодинамический способы описания состояния системы. Термодинамическая система. Температура.
18. Идеальный газ. Законы описывающие поведение идеальных газов. Уравнение состояния идеального газа.
19. Основные представления кинетической теории. Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеальных газов.
20. Закон Максвелла о распределении молекул идеального газа по скоростям. Барометрическая формула.
21. Распределение Больцмана.
22. Явления переноса. Число столкновений и длина свободного пробега молекул в газах. Явление переноса в термодинамических неравновесных системах. Описание закона диффузии, теплопроводности, внутреннего трения.

23. Основы термодинамики: Термодинамические процессы. Внутренняя энергия. Число степеней свободы.
24. Первое начало термодинамики. Работа газа при изменении объема.
25. Теплоемкость газа. Теплоемкость при постоянном давлении и постоянном объеме. Формула Майера.
26. Применение первого начала динамики к различным изопроцессам. Адиабатический и политропный процессы.
27. Круговой процесс (цикл). КПД цикла. Обратимые и необратимые процессы.
28. Энтропия. Изменение энтропии. Статистическая и термодинамическая энтропия. Закон возрастания энтропии.
29. Второе начало термодинамики. Формулировка второго начала по Кельвину, Клаузиусу. Третье начало термодинамики.
30. Тепловой двигатель и холодильная машина. Теорема Карно. Цикл Карно и его КПД.
31. Реальные газы, жидкости и твердые тела: Реальные газы. Учет молекулярного взаимодействия. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Внутренняя энергия реального газа.
32. Жидкости. Поверхностное натяжение. Ближний и дальний порядок. Смачивание и несмачивание. Избыточное давление. Формула Лапласа. Капиллярные явления.
33. Твердые тела. Типы кристаллических твердых тел. Дефекты структуры. Теплоемкость твердых тел.
34. Изменение агрегатного состояния. Фазовые переходы I и II рода. Диаграмма состояния. Анализ диаграммы состояния.

8.8 Экзаменационные вопросы (семестр 3)

1. Электростатика: Электрический заряд. Закон сохранения электрического заряда. Закон Кулона. Электростатическое поле. Напряженность электрического поля. Силовые линии. Принцип суперпозиции электростатических полей.
2. Поток вектора напряженности электрического поля. Теорема Гаусса. Работа электрического поля по перемещению заряда. Циркуляция вектора напряженности электростатического поля.
3. Потенциальный характер электростатического поля. Потенциал электрического поля. Разность потенциалов. Связь между напряженностью и потенциалом. Эквипотенциальные поверхности.
4. Примеры расчета наиболее важных симметричных электростатических полей в вакууме.
5. Типы диэлектриков. Поляризация диэлектриков. Типы поляризации. Поляризованность. Диэлектрическая проницаемость среды. Свободные и свя-

занные заряды. Вектор электрического смещения. Теорема Гаусса для вектора электрического смещения. Условия на границе раздела двух диэлектрических сред.

6. Проводники в электрическом поле. Индуцированные заряды.
7. Емкость. Конденсаторы. Соединения конденсаторов.
8. Энергия системы точечных зарядов, уединенного проводника, конденсатора, электростатического поля.
9. Постоянный электрический ток: Электрический ток. Сила тока, плотность тока. Условия существования тока в цепи. Сторонние силы. Э.Д.С. и напряжение.
10. Закон Ома в интегральной и дифференциальной форме для однородного участка цепи. Сопротивление проводников.
11. Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца. Закон Ома для неоднородного участка цепи.
12. Законы Кирхгофа.
13. Электрические токи в металлах, вакууме и газах: Элементарная классическая теория электропроводности металлов. Работа выхода электронов из металла.
14. Эмиссионные явления и их применение.
15. Ионизация газов. Самостоятельный и несамостоятельный разряд. Плазма и ее свойства.
16. Магнитное поле: Магнитное поле и его характеристики. Рамка с током. Направление магнитного поля. Вектор магнитной индукции. Макро- и микротоки. Закон Био-Савара-Лапласа. Магнитное поле прямолинейного тока, кругового тока.
17. Сила Ампера. Магнитное взаимодействие параллельных токов. Магнитное поле движущегося заряда. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле. Эффект Холла.
18. Циркуляция и поток вектора магнитной индукции. Теорема Гаусса для магнитного поля. Работа по перемещению проводника и контура с током в магнитном поле.
19. Электромагнитная индукция: Явление электромагнитной индукции. Причины появления Э.Д.С. Закон Фарадея. Правило Ленца. Вихревое электрическое поле.
20. Вращение рамки в магнитном поле. Токи Фуко. Индуктивность. Явление самоиндукции.
21. Токи при замыкании и размыкании цепи. Взаимная индукция. Энергия магнитного поля.
22. Магнитные свойства вещества: Магнитные моменты электронов и атомов. Магнетики. Типы магнетиков. Намагничивание магнетиков. Внутреннее магнитное поле.

23. Напряженность магнитного поля. Закон полного тока для магнитного поля в веществе.
24. Ферромагнетики и их свойства.
25. Электромагнитная теория Максвелла: Вихревое электрическое поле. Ток смещения. Система уравнений Максвелла для электромагнитного поля и их физический смысл.
26. Механические и электромагнитные колебания: Колебания. Виды колебаний. Гармонические колебания и их характеристики. Уравнение гармонических колебаний. Кинетическая, потенциальная, полная энергия.
27. Гармонические колебания на примере пружинного, математического, физического маятников и колебательного контура.
28. Векторная диаграмма колебаний. Сложение гармонических колебаний. Сложение гармонических колебаний разной частоты. Биения. Сложение взаимноперпендикулярных колебаний.
29. Затухающие колебания. Дифференциальное уравнение затухающих колебаний. Вынужденные колебания. Резонанс.
30. Переменный ток. Резонанс токов и напряжения. Мощность.
31. Упругие волны: Волновые процессы. Поперечные и продольные волны. Упругая гармоническая волна. Длина волны. Бегущая волна. Уравнение плоской волны. Фазовая и групповая скорость.
32. Уравнение сферической волны. Волновое уравнение. Интерференция волн. Условия усиления и ослабления волн. Стоячие волны. Эффект Доплера.
33. Электромагнитные волны: Электромагнитные волны. Дифференциальное уравнение электромагнитной волны, ее энергия и импульс. Шкала электромагнитных волн.

8.9 Экзаменационные вопросы (семестр 4)

1. Элементы геометрической и электронной оптики: Основные законы оптики. Тонкие линзы. Изображение предметов с помощью линз. Аберрации оптических систем. Элементы электронной оптики.
2. Интерференция света: Интерференция света. Принцип Гюйгенса. Понятия когерентности и монохроматичности волн. Методы получения когерентных волн (щели Юнга, бипризма, бизеркала Френеля).
3. Расчет интерференционной картины. Интерференция в тонких пленках. Полосы равной толщины и равного наклона. Кольца Ньютона. Просветление оптики.
4. Дифракция света: Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Зоны Френеля. Свойства зон Френеля.
5. Дифракция Френеля на круглом отверстии, диске.

6. Дифракция Фраунгофера на щели, на дифракционной решетке, на пространственной решетке. Уравнение Вульфа – Брэггов.
7. Взаимодействие электромагнитных волн с веществом: Дисперсия света. Поглощение света. Эффект Доплера. Излучение Вавилова-Черенкова.
8. Поляризация света: Поляризация света. Закон Малюса. Способы получения поляризованного света.
9. Квантовая природа излучения: Квантовая природа излучения. Тепловое излучение. Абсолютно черное тело. Законы теплового излучения (Законы Кирхгофа, Стефана-Больцмана, Вина, Релея-Джинса и Вина).
10. Квантовая гипотеза Планка. Фотоэффект и его законы. Уравнение Эйнштейна. Красная граница. Эффект Комптона. Масса и импульс фотона. Давление света. Корпускулярно-волновой дуализм света.
11. Теория атома водорода по Бору: Модели атомов. Линейчатый спектр атома водорода. Спектральные закономерности. Постулаты Бора. опыты Франка и Герца. Радиус и энергия стационарных орбит.
12. Элементы квантовой механики: Корпускулярно-волновой дуализм материи. Гипотеза де-Бройля. Длина волны де-Бройля. Соотношение неопределенностей. Волновая функция и ее свойства. Описание микрочастиц в квантовой механике.
13. Уравнение Шредингера (временное и стационарное). Уравнения Шредингера для движения свободной частицы и для движения частицы в прямоугольной потенциальной яме.
14. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект. Линейный гармонический осциллятор в квантовой механике.
15. Элементы современной физики атомов и молекул: Атом водорода в квантовой механике. Квантовые числа. Правила отбора. Спин электрона. Принцип неразличимости тождественных частиц. Фермионы и бозоны.
16. Принцип Паули. Распределение электронов в атоме по состояниям.
17. Рентгеновские спектры. Молекулы. Химические связи. Молекулярные спектры.
18. Поглощение, спонтанное и вынужденное излучения. Оптические квантовые генераторы. Основные элементы генераторов. Характеристики лазерного излучения.
19. Элементы квантовой статистики: Распределение Ферми-Дирака, Бозе-Эйнштейна. Вырожденный электронный газ в металлах.
20. Понятие о квантовой теории теплоемкости. Фононы.
21. Квантовая теория электропроводности металлов. Сверхпроводимость.
22. Элементы физики твердого тела: Зонная теория проводимости твердых тел. Металлы, полупроводники, диэлектрики.

23. Собственная проводимость полупроводников. Примесная проводимость полупроводников.

24. Фотопроводимость полупроводников. Люминесценция твердых тел. p-n переход.

25. Элементы физики атомного ядра: Атомное ядро. Состав атомного ядра. Энергия связи, дефект масс. Спин ядра и его магнитный момент. Свойства ядерных сил. Модели атомного ядра.

26. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Правила смещения. Виды распадов. Дозиметрические величины и единицы. Эффект Мессбауэра.

27. Приборы для регистрации радиоактивных излучений и частиц.

28. Ядерные реакции и их основные типы. Ядерные реакции под действием нейтронов. Реакции деления ядра. Цепная реакция деления. Ядерные реакторы. Реакции синтеза.

29. Элементы физики элементарных частиц: Элементарные частицы. Классификация элементарных частиц. Частицы и античастицы. Фундаментальные взаимодействия.

9.УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «Физика»

а) основная литература:

1. Трофимова Т.И. Курс физики: учеб. пособие: рек. Мин. обр. РФ/ Т.И. Трофимова.-8-15-е изд., стер.- М.: Высш. шк., 2003-2008.

2. Курс физики: учеб.: рек. Мин. обр. РФ: в 2 т./ под ред. В.Н. Лозовского.Т.1.- 2003, 2009.

3. Курс физики: учеб.: рек. Мин. обр. РФ: в 2 т./ под ред. В.Н. Лозовского.Т.2.- 2003, 2009.

б) дополнительная литература:

1. Шутов В.И. Эксперимент в физике: физический практикум/ В.И. Шутов, В.Г. Сухов, Д.В. Подлесный.- М.: Физматлит, 2005.- 184 с.

2. Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики: учеб. пособие для студ. техн. вузов/ В.С. Волькенштейн.- СПб.: Книжный мир, 2005, 2004, 2003.- 328 с.

3. Детлаф А.А. Курс физики: учеб. пособие для вузов: рек. Мин. обр. РФ/ А.А. Детлаф, Б.М. Яворский.- 2-е изд., испр. и доп.- М.: Высш. шк., 2000.- 720 с.

4. Физический практикум. Механика, молекулярная физика: учеб. - метод. пособие: рек. ДВ РУМЦ/ АмГУ, ИФФ: сост. А.А. Согр, В.Ф. Ульянычева, О.В. Козачкова.- Благовещенск: Изд-во Амурск. гос. ун-та, 2007.- 91с.

5. Лабораторный практикум по курсу «Электричество и магнетизм»: учеб. - метод. пособие: рек. ДВ РУМЦ/ АмГУ, ИФФ: сост. В.Ф. Ульянычева [и др.]- Благовещенск: Изд-во Амурск. гос. ун-та, 2010.- 180 с.

6. Физический практикум: практикум. Ч.5 Атомная физика. Вып. 1/ АмГУ, ИФФ: ред. Е.В. Иванова.- Благовещенск: Изд-во Амурск. гос. ун-та, 2002.- 91с.

7. Лабораторный практикум по физике атомного ядра и элементарных частиц: учеб. пособие: рек. ДВ РУМЦ/ АмГУ, ИФФ: сост. Е.А. Ванина, Е.С. Астапова, И.В. Гопиенко.- Благовещенск: Изд-во Амурск. гос. ун-та, 2006.- 108 с.

8. Лабораторный практикум по физике атомного ядра и элементарных частиц: учеб. пособие/ АмГУ, ИФФ: сост. Е.А. Ванина, Е.С. Астапова, И.В. Гопиенко.- Благовещенск: Изд-во Амурск. гос. ун-та, 2009.- 181 с.

9. Черноуцан А.И. Краткий курс физики: учеб. пособие: рек. Мин. обр. РФ/ А.И. Черноуцан.- М.: физматлит, 2002.- 300 с.

10. Яворский Б.М. Основы физики : учеб.: [в 2 т.]/ Б. М. Яворский, А. А. Пинский ; под ред. Ю. И. Дика. -5-е изд., стер.. -М. : Физматлит. Т. 1 : Механика. Молекулярная физика. Электродинамика. –2003.–576 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

№	Наименование ресурса	Краткая характеристика
1	http://www.amursu.ru/	Электронная библиотека АмГУ
2	http://www.iqlib.ru/	Интернет-библиотека образовательных изданий, в которой собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам и отраслям знаний.
3	Свободная энциклопедия Википедия http://ru.wikipedia.org	Интернет-энциклопедия образовательных изданий, в которой собраны электронные учебники, справочники, а так же статьи различной тематики. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам и отраслям знания.
4	Электронная библиотечная система « Университетская библиотека- online » www.biblioclub.ru	ЭБС по тематике охватывает всю область естественно-научных знаний и предназначена для использования в процессе обучения в высшей школе, как студентами, так и преподавателями.
5	Студентам и школьникам курсы общей физики. Полные курсы по общей физике http://www.ph4s.ru	Некоммерческий проект, создан с целью оказания помощи школьникам и студентам в изучении физики и других предметов. На этом ресурсе размещены различные материалы: учебники, задачки, лекции, другие учебные пособия. Все выложенные материалы бесплатны и при скачивании не требуют каких-либо регистраций.
6	http://www.toehelp.ru	Сайт содержит необходимую литературу (книги) и другой теоретический материал для самостоятельной работы студентов

		и их подготовки к экзаменам, а также примеры решение задач по физике, высшей математике, программированию, ТОЭ (теоретические основы электротехники), термеху (теоретическая механика) и сопромату (сопротивление материалов).
--	--	--

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ «Физика»

№ п/п	Наименование лабораторий, ауд.	Основное оборудование
1	2	3
1.	407 (лекционная)	Комплект ТСО Видеопроектор Epson Цв.телевизор ABEST-03г. Мультимедийный проектор-03г Ноутбук Пентиум 100-03г.
2.	412 (механики и молекулярной физики)	Комплект лаб.обор.«Механика» ELWRO- 8уст. Лаб. установка ДП-6 ДГУ, г.Днепропетровск

		<p>Микрометры</p> <p>Комплект уст. ЛКТ1"Владис"МИФИ, Москва-1к.</p> <p>Комплект установок собств. пр-ва</p>
3.	<p>416</p> <p>(электричества и магнетизма)</p>	<p>Лаб. стенд «Электричество и магнетизм»</p> <p>Комплект установок собственного пр-ва- 11уст.</p> <p>Генератор</p> <p>Блоки питания</p> <p>Цифровые мультиметры.</p> <p>Вольтметр</p> <p>Электромагнит ЭМ-1</p> <p>Универсальный лаб.стенд НТК ФИЗЭКС- 3р.м.</p>
4.	<p>417</p> <p>(оптики, атомной и ядерной физики)</p>	<p>Лаборатория оптики</p> <p>Микроинтерферометр</p> <p>Монохроматоры</p> <p>Лазеры ЛГН-118</p> <p>Лазерный источник для демонстраций</p> <p>Лазер DLT-314QT</p> <p>Оптические скамьи</p> <p>Микроскоп оптический</p> <p>Монохроматор УМ-2, комплект спектральных трубок</p>

		Установка изучения β -радиоактивности ФПК-05
--	--	--

11. РЕЙТИНГОВАЯ ОЦЕНКА ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Рейтинговая оценка знаний студентов проводится в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценки деятельности студентов 1 курса на кафедре ТиЭФ от 24.09.2010.

1.3. Методические рекомендации для преподавателя

Курс «физика» является одной из базовых дисциплин общеинженерной подготовки студентов технических специальностей ВУЗов. Учитывая специфику специальностей, по которым предусмотрено изучение физики, рекомендуется при планировании содержания лекционных курсов, практических, семинарских и лабораторных занятий существенное внимание уделять применению теоретических знаний в инженерной практике, в быту, в научной деятельности. Практическая направленность данного курса диктуется требованиями преемственности (межпредметного согласования) дисциплин теоретического блока и дисциплин специализации инженерных факультетов.

Рекомендуется сочетание в практике преподавания различных видов деятельности студентов: аудиторная (коллективная, индивидуальная) работа, экспериментальная, исследовательская работа (в рамках физического практикума, НИРС), самостоятельная работа (проработка теоретических вопросов, подготовка к практическим и лабораторным занятиям, подготовка к коллоквиуму, экзамену, выполнение расчетно-графических заданий).

При организации контроля качества знаний по дисциплине «физика» целесообразно соблюдать следующие этапы:

1. Входящий контроль. Студенты, начинающие изучение данной дисциплины, подвергаются тестированию на предмет знания физики в объеме школьного курса. Определяется их исходный базовый уровень. Это позволяет скорректировать учебный план в соответствии с необходимостью (если требуется) введения в него дополнительных разделов, повышающих базовый уровень знаний студентов.
2. Текущий контроль. Осуществляется преподавателями, ведущими лабораторные и практические занятия. Как правило, он проводится в форме контрольных работ, а так же защите индивидуальных расчетно-графических заданий. Проверка усвоения теоретического материала осуществляется в процессе проведения теоретического коллоквиума, где студенты письменно отвечают на два предложенных из общего списка вопросов. Беседуя со студентом по

содержанию этих вопросов, а также любых других из общего списка, преподаватель выставляет оценку в соответствии с общепринятыми критериями.

3. Итоговый контроль. В завершение изучения текущего раздела дисциплины «физика» студенты сдают семестровый экзамен. Экзаменационное задание (билет) содержит 3-4 вопроса, из которых два – имеют теоретический характер, 1-2 – представляют собой качественные или вычислительные задачи, по темам, вынесенным на экзамен. По итогам экзамена преподаватель выставляет студенту оценку в соответствии с общепринятыми критериями.
4. Контроль остаточных знаний. Проводится после завершения изучения полного курса физики (1,2,3 части). Форма проверки – тестирование. Содержание тестов контроля остаточных знаний на стр. ... По итогам тестирования выставляются оценки: «5» - более 75% правильных ответов, «4» - более 60% правильных ответов, «3» - более 30% правильных ответов. Менее 30% правильных ответов – выставляется оценка «2».

Рекомендуемые сроки проведения текущего контроля:

Проведение контрольных работ:

№1: темы 1-5, 9 неделя (1 семестр)

№2: темы 1-6. 12 неделя (2 семестр)

№3: темы 1-5. 10 неделя (3 семестр)

Проведение коллоквиума. На коллоквиум выносятся следующие вопросы (см. список экзаменационных вопросов):

1 семестр (1 часть) 1-25 вопросы

2 семестр (2 часть) 1-22 вопросы

3 семестр (3 часть) 1-16 вопросы

1.4. Методические рекомендации для студентов по самостоятельному изучению дисциплины

1.4.1. Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям

- 1) Для подготовки к практическим и семинарским занятиям используйте конспекты лекций, учебники и учебные пособия, указанные в списке рекомендуемой основной и дополнительной литературы.
- 2) Прочитайте тему занятия, выделите те вопросы теории, которые подлежат обсуждению в аудитории.
- 3) Прочтите конспект лекции, освещающей данную тему.
- 4) Ответьте на вопросы для самопроверки. При возникновении трудностей с пониманием теоретических основ изучаемой темы, обратитесь к учебнику или методическому пособию. Целесообразно использовать в ходе подготовки учебники разных авторов, где изучаемый вопрос рассматривается с разных методических позиций.
- 5) При выполнении индивидуальных расчетно-графических заданий внимательно просмотрите решение аналогичных задач, рассматриваемых на учебных занятиях, осмыслите методы и методические приемы, используемые при их решении.
- 6) Постарайтесь самостоятельно воспроизвести решение этих задач; при возникновении трудностей вернитесь к тому месту в конспекте, который вызвал затруднения. Вновь повторите эту процедуру – до тех пор, пока воспроизведение не станет уверенным.
- 7) Освоив методику решения данного класса задач, приступайте к решению задач из индивидуального задания. При этом придерживайтесь следующих правил:
 - Запишите краткие условия; выясните, что известно и что требуется найти.
 - Сделайте чертеж, изобразите схему или график, поясняющий суть задачной ситуации;

- Выделите объекты задачи и выясните природу происходящих с ними изменений (процессов). Запишите ключевые отношения, законы, описывающие данное физическое явление.
 - Примените эти отношения к системе объектов задачи, получите математическую модель физической системы (процесса), описанной в задаче: как правило, это система уравнений, решение которой дает ответ на требования задачи.
 - Оформите аккуратно решение задачи на листе формата А4.
- 8) На практических и семинарских занятиях целесообразно иметь при себе конспекты лекций, учебники и учебные пособия, в которых изложена теория и методика решения задач по данному учебному курсу.

1.4.2. Методические рекомендации по подготовке и выполнению лабораторного практикума

- 1) Лабораторный практикум выполняется по индивидуальному графику бригадой, состоящей из 2-3 студентов.
- 2) Следует учесть, что подготовка к практикуму требует немало времени, поэтому целесообразно планировать ее заранее!
- 3) Для эффективной подготовки к лабораторной работе придерживайтесь следующих правил:
 - Внимательно прочтите описание работы в методическом пособии по лабораторному практикуму;
 - Оформите шаблон отчета по данной работе в индивидуальном лабораторном журнале (см. «Схема оформления отчета» в метод. указаниях к практикуму): укажите название, цель работы, изобразите схему установки. В пункте «Краткая теория» ответьте письменно на контрольные вопросы. Для этой работы активно используйте конспекты лекций и учебные пособия;
 - Заготовьте формы таблиц, в которых будут представлены результаты измерений и расчетов (примеры таблиц даются в метод. пособии).
- 4) Перед выполнением эксперимента студент должен пройти собеседование с преподавателем и получить допуск к работе. Для получения допуска студент должен ответить на следующие вопросы:

- Какова цель экспериментальной задачи? Каковы основы теории изучаемого явления, основные понятия и формулы?
 - Каков принцип работы экспериментальной установки? Перечислите основные этапы эксперимента.
- 5) Получив допуск, выполните эксперимент с соблюдением его методики и правил техники безопасности (см. в метод. пособии пункт «Выполнение работы»). Занесите данные измерений в таблицы вашего отчета. Произведите вычисление искомого параметра (или зависимости). Произведите статистическую обработку измерений. В случае графического представления результатов используйте только масштабную-координатную бумагу форматом 150-200 мм².
- 6) Запишите результат экспериментального задания, укажите абсолютную и относительную погрешность измерений, сделайте выводы.

Для получения зачета студент представляет преподавателю оформленный отчет со всеми необходимыми расчетами и защищает его в ходе последующего собеседования.

II. ОБУЧАЮЩИЙ РАЗДЕЛ

2.1. Курс лекций

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕХАНИКИ

Введение в курс физики. Предмет механики. Кинематика и динамика. Классическая механика. Квантовая механика. Релятивистская механика.

Предметом изучения физики является материя, которая является объективной реальностью, существующей независимо от нас; познается органами чувств, находится в непрерывном движении. Формы существования в пространстве и времени: вещество и поле.

Под движением понимают всякое изменение вообще и выделяют следующие наиболее общие формы движения материи: физическую, химическую, биологическую и общественную. Самой простой из них является физическая форма движения материи.

Физика как наука изучает простейшие и вместе с тем наиболее общие закономерности явлений природы, свойства и строение материи, и законы её движения. В физической форме движения материи принято выделять механическую, тепловую, электромагнитную и квантово-механическую формы движения. Курс физики разбивают на следующие разделы – механика, молекулярная физика и термодинамика, электромагнетизм, квантовая механика, физика конденсированного состояния, физика атомного ядра и элементарных частиц.

Физика является основой всех естественных наук (например, химии, биологии, географии, астрономии и т.д.), так как физическая форма движения материи входит в более сложные формы движения как их составная часть. При этом в настоящее время нет четкой границы между физикой и естественными науками, поскольку современные физические методы исследования широко внедряются в них и возникают соответственно такие дисциплины, как физическая химия, биофизика, геофизика, астрофизика и т.д.

В физике реализуется, в основном, следующая схема познания, изучения явлений природы: 1) наблюдение какого-либо нового явления в природе, проведение опытов – многократного воспроизведения данного явления в контролируемых условиях; 2) объяснения результатов опытов с помощью различных гипотез, позволяющих теоретически объяснить закономерности протекания этого яв-

ления; 3) после экспериментальной проверки гипотеза либо отбрасывается, либо становится законом, позволяющим описать данную область явлений и подсказать новые явления, новые закономерности. Эти предсказания проверяются на опыте, и схема познания реализуется на более высоком уровне.

Законы физики представляют собой количественные соотношения и формулируются на математическом языке.

Развитие физики стимулирует развитие математики. Изучение квантово-механической формы движения материи, физики атомного ядра и элементарных частиц, ранних этапов развития Вселенной требуют разработки новых понятий и методов в математике.

ТЕМА : Элементы кинематики.

1) Физические модели: материальная точка (частица), система материальных точек, абсолютно твёрдое тело, сплошная среда. Пространство и время.

Материальная точка (м.т.) – тело, размерами которого можно пренебречь в условиях данного движения.

Абсолютно твердое тело (а. т. т) - это абсолютно недеформируемое тело или тело, расстояние между двумя любыми точками которого остается постоянным при его движении.

Сплошная среда – единая система, свойства которой в каждой точке одинаковы.

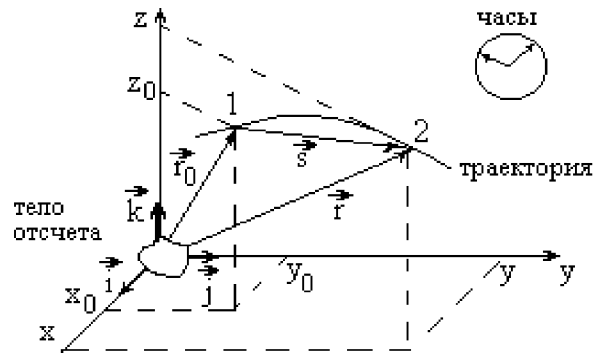
Пространство и время. В классической механике пространство считают однородным, однозначным, изотропным, трехмерным, подчиняющимся геометрии Евклида. Время- однородно, однозначно, изотропно, одномерно.

2) Кинематическое описание движения.

Под механическим движением понимают изменение с течением времени взаимного положения тел в пространстве.

Поступательное движение – это такое движение, при котором любая прямая, проведенная в теле, перемещается параллельно самой себе.

Вращательное движение вокруг неподвижной оси – это такое движение, при котором все точки тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной прямой, называемой осью вращения (она может находиться вне тела).



Система отсчета (С.О.) - включает в себя тело отсчета, связанную с ним систему координат и прибор (часы) для измерения времени.

Линию, по которой движется тело, называют **траекторией движения**.

Положение тела в пространстве можно задать либо с помощью координат (x, y, z) , либо с помощью **радиус-вектора** \vec{r} , проведенного из начала координат в рассматриваемую точку:

$$\vec{r} = \vec{i} \cdot x + \vec{j} \cdot y + \vec{k} \cdot z$$

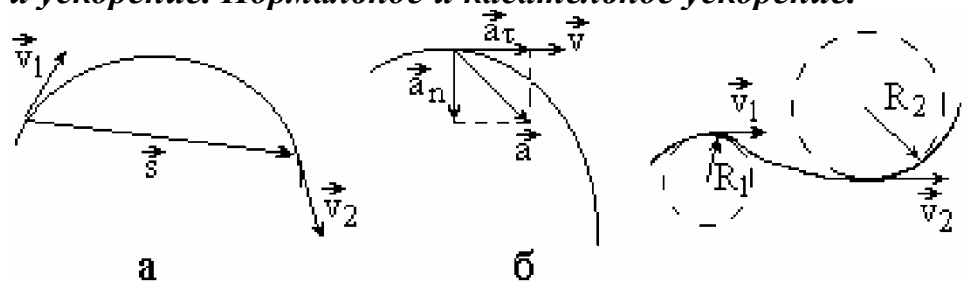
где вектора $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ - это единичные орты, указывающие направления осей Ox, Oy, Oz ,

x, y, z - проекции вектора \vec{r} на координатные оси. Вектор \vec{S} , соединяющий начальное и конечное положение, называют **перемещением**. Он связан с радиус-векторами \vec{r}_0 и \vec{r} и следующим равенством:

$$\vec{S} = \vec{r} - \vec{r}_0$$

Модуль вектора перемещения меньше или равен **пути** - расстоянию, пройденному телом по траектории. Эти величины совпадают по модулю в случае прямолинейного движения.

3) Скорость и ускорение. Нормальное и касательное ускорение.



Средняя путевая скорость v_{cp} - скалярная физическая величина, равная отношению пути, пройденного телом за время t , к этому времени t :

$$v_{cp} = \frac{S}{t}$$

Мгновенная скорость - скорость тела в данной точке траектории, равная первой производной от радиус-вектора \vec{r} по времени t :

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

Мгновенное ускорение - быстрота изменения скорости, ускорение в данной точке траектории, равное первой производной от скорости по времени t или второй производной от радиус-вектора по времени t :

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$$

Проекцию вектора ускорения \vec{a} на направление касательной к траектории называют касательным (тангенциальным) ускорением \vec{a}_τ , а на направление, перпендикулярное к касательной - нормальным ускорением \vec{a}_n .

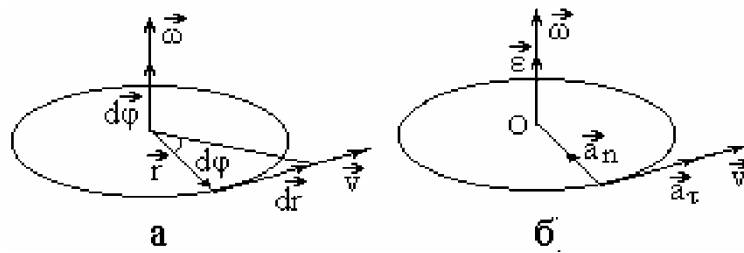
$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n; \quad \vec{a}_\tau = \frac{d\vec{v}}{dt}; \quad a_n = \frac{v^2}{R};$$

где v - численное значение скорости; R - **радиус кривизны траектории** в данной ее точке, он равен радиусу окружности R , вписанной в малый участок траектории вблизи этой точки.

Тангенциальное ускорение характеризует изменение скорости тела по величине (по модулю скорости), а нормальное ускорение - по направлению.

4) Движение точки по окружности. Угловая скорость и угловое ускорение. Вектор угловой скорости и углового ускорения.

Пусть м.т. движется со скоростью \vec{v} по окружности радиуса \vec{r} вокруг неподвижной оси вращения (рис. 3). При повороте на угол $d\varphi$, радиус-вектор \vec{r} получит приращение $d\vec{r}$.



Вектор $d\vec{r}$ направлен по касательной к окружности.

Вектором элементарного углового перемещения $d\vec{\varphi}$ называется вектор, направление которого связано с направлением вращения правилом правого буравчика, поступательное движение буравчика определяет направление вектора $d\vec{\varphi}$.

Угловая скорость $\vec{\omega}$ характеризует быстроту вращения м.т., равная первой производной от вектора углового перемещения $d\vec{\varphi}$ по времени t :

$$\vec{\omega} = \frac{d\vec{\varphi}}{dt}$$

Направления вектора угловой скорости $\vec{\omega}$ и вектора элементарного углового перемещения совпадают.

Вектор углового ускорения $\vec{\varepsilon}$ характеризует быстроту изменения угловой скорости и равен первой производной от угловой скорости $\vec{\omega}$ по времени t :

$$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}$$

В случае ускоренного вращения направления векторов $\vec{\varepsilon}$ и $\vec{\omega}$ совпадают (рис.3,б), для замедленного вращения - направлены в противоположные стороны.

Для описания вращательного движения тела используют **частоту обращения** n , определяемую как число оборотов, совершаемых телом за единицу времени, и **период обращения** T как время одного полного оборота. Справедливы следующие формулы взаимосвязи:

$$n = \frac{N}{t}; T = \frac{2\pi r}{v}; \omega = 2\pi n$$

5) Формулы взаимосвязи линейных и угловых характеристик при вращательном движении

$$\vec{v} = [\vec{\omega}; \vec{r}]; \quad a_n = \omega^2 R; \quad a_\tau = \varepsilon \cdot R;$$

где R – радиус окружности.

ТЕМА: Динамика частиц.

1) Основная задача динамики. Понятие состояния в классической механике. Уравнение движения.

Кинематика устанавливает законы движения материальной точки, но не указывает причины, вызвавшие это движение, а также факторы, влияющие на вариации кинематических параметров движения.

Рассматривая механическое взаимодействие данного тела с другими телами, приводящее к изменению состояния тела, изменению его скорости, т.е. к возникновению ускорения, можно записать уравнение движения тела. Это и есть основная задача динамики.

2) Масса и импульс. Границы применимости классического способа описания движения частиц.

Все тела изменяют свою скорость не мгновенно, а постепенно при их взаимодействии с другими телами. Способность тела сохранять свое состояние называется **инертностью**. Количественной характеристикой инертности тела является его **масса m** .

Величина, равная произведению массы тела на его скорость, характеризующая количество движения тела называется **импульсом тела \vec{P}** .

$$\vec{P} = m \cdot \vec{v}$$

Импульс величина векторная, направление вектора импульса совпадает с направлением вектора скорости.

3) Современная трактовка законов Ньютона. Первый закон Ньютона и понятие инерциальной системы отсчёта.

В основе классической механики движения м.т. лежат три закона Ньютона, они не доказываются, они являются обобщением опытных фактов.

Первый закон Ньютона: тело покоится или движется равномерно и прямолинейно, если на него не действуют другие тела или их действие скомпенсировано.

Первый закон Ньютона выполняется не во всех системах отсчета. Среди последних выделяют **инерциальные системы отсчета (ИСО)**, в которых выполняется первый закон Ньютона и соответственно второй и третий законы Ньютона.

Наиболее близкой к ИСО можно считать С.О., связанную с Солнцем. Для многих физических явлений систему отсчета, связанную с Землей, также можно считать ИСО. В теоретическом плане ИСО существует бесконечное множество, все они движутся равномерно и прямолинейно, т.е. без ускорения, или покоятся.

4) Второй закон Ньютона как уравнение движения. Сила как производная импульса. Виды сил в механике.

Для общности рассуждений механическое взаимодействие тела с другими телами описывают понятием **силы F** , которая определяется как векторная физическая величина, характеризующая механическое взаимодействие данного тела с другими телами, приводящее к его деформации или к возникновению ускорения.

Введение силы F позволяет количественно описать взаимодействия и выявить в них наиболее важные особенности. Сила является количественной характеристикой соответствующего вида взаимодействия. В природе существует четыре вида взаимодействия: сильное; слабое; гравитационное и электромагнитное. В механике проявляются только силы гравитационного и электромагнитного взаимодействия.

Гравитационное взаимодействие выражается законом всемирного тяготения:

$$\vec{F} = G \frac{m \cdot M}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r};$$

Проявлением этого взаимодействия на Земле является существование силы тяжести:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{g}; \quad g\text{- ускорение свободного падения};$$

И сила, с которой тело действует на опору или подвес, - вес тела:

$$\vec{P} = m(\vec{g} \pm \vec{a})$$

Электромагнитное взаимодействие выражается законом Кулона:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q \cdot Q}{r^2} \cdot \frac{\vec{r}}{r};$$

В механике это взаимодействие объясняет существование сил упругости и сил трения. Трение бывает сухим и вязким, в первом случае сила трения пропорциональна силе нормального давления N (пропорциональной силе тяжести), во втором – скорости движения тела v .

$$F_T = \mu \cdot N; F_T = \eta \cdot v \text{ или } F_T = \eta \cdot v^2 \text{ для случая больших скоростей.}$$

Сила упругости пропорциональна величине деформации:

$$F_y = k \cdot x$$

Второй закон Ньютона количественно описывает механическое взаимодействие тел, связывая между собой действующую на тело силу с изменением его импульса. Согласно этому закону первая производная от импульса \vec{P} тела по времени t равна векторной сумме сил, действующих на тело:

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = \sum_1^N \vec{F}_i$$

Формула позволяет рассматривать движение, при котором масса тела может изменяться (реактивное движение).

Если масса тела не зависит от времени, то тогда выражение можно записать, вводя в него ускорение тела:

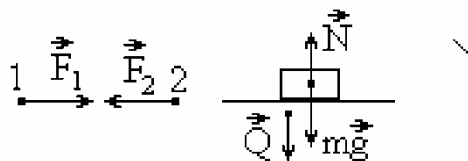
$$m \cdot \vec{a} = \vec{F}$$

5) Третий закон Ньютона.

Третий закон Ньютона устанавливает дополнительные связи между силами, возникающими при взаимодействии, и облегчает решение задачи о механическом движении тел.

Согласно этому закону силы, действующие между двумя телами и, равны по модулю и противоположны по направлению, лежат на одной прямой, имеют одну природу.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$



ТЕМА : Система материальных точек.

1) Внутренние и внешние силы. Центр масс (центр инерции).

Все силы, действующие на механическую систему, можно разделить на внешние (действуют со стороны тел, не входящих в систему) и внутренние (действуют внутри системы). Для описания поведения системы м.т. введем понятие **центра масс системы**.

Центром масс системы называется точка пространства, положение которой относительно какой-либо ИСО определяется радиус-вектором $r_c = \frac{\sum_1^N m_i \cdot r_i}{m}$

где m - сумма масс тел (материальных точек) системы; r_i - радиус-вектор i -го тела (м.т.) системы.

Если поместить в центр масс тело в виде материальной точки массы m , то оно будет двигаться со скоростью v_c , равной

$$\vec{v}_c = \frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{1}{m} \cdot \frac{d}{dt} \left(\sum_1^N m_i \cdot \vec{r}_i \right) = \frac{1}{m} \sum_1^N m_i \cdot \frac{d\vec{r}_i}{dt}$$

Если подставить полученное выражение во второй закон Ньютона получим закон движения центра масс:

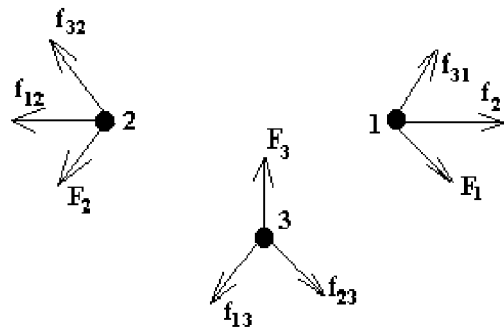
$$m \cdot \frac{d\vec{v}_c}{dt} = \sum_1^N \vec{F}_i$$

Центр масс системы - это точка пространства, к которой приложены все силы, вызывающие по отдельности поступательное движение системы. Поэтому поступательное движение системы можно моделировать движением тела в виде м.т. массы m , помещенного в центре масс системы. Этот прием является удобным при изучении такого движения системы.

Если система является замкнутой или внешние силы, действующие на нее, компенсируют друг друга, то ее центр масс будет двигаться равномерно и прямолинейно или покоиться. Поэтому в ИСО, связанной с ним, проще описать движение тел системы. Центр масс абсолютно твердого тела совпадает с его центром тяжести, но является более общим понятием, справедливым и в отсутствие внешних гравитационных полей.

2) Импульс системы материальных точек. Закон сохранения импульса как фундаментальный закон природы.

Рассмотрим систему, состоящую из N тел.



На каждое тело системы действуют внешние силы \vec{F}_i ($i = 1, \dots, N$) со стороны не входящих в эту систему тел (м.т.), и внутренние силы $\vec{f}_{ik}^{\text{вн}}$ ($i, k = 1, \dots, N$) со стороны других тел системы. Внутренние силы системы связаны между собой третьим законом Ньютона, т.е. попарно равны.

$$f_{ik} = f_{ki}$$

Запишем уравнения второго закона Ньютона для всех тел системы и затем сложим эти уравнения:

$$\frac{d\vec{P}_1}{dt} = \vec{F}_1 + \sum_k \vec{f}_{1k}; \quad \frac{d\vec{P}_2}{dt} = \vec{F}_2 + \sum_k \vec{f}_{2k}; \quad \dots; \quad \frac{d\vec{P}_N}{dt} = \vec{F}_N + \sum_k \vec{f}_{Nk}$$

$$\sum_1^N \vec{P}_i = \vec{P}_c; \quad \sum_{ik} \vec{f}_{ik} = 0; \quad \sum_i \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_N; \quad \frac{d\vec{P}_c}{dt} = \sum_i \vec{F}_i$$

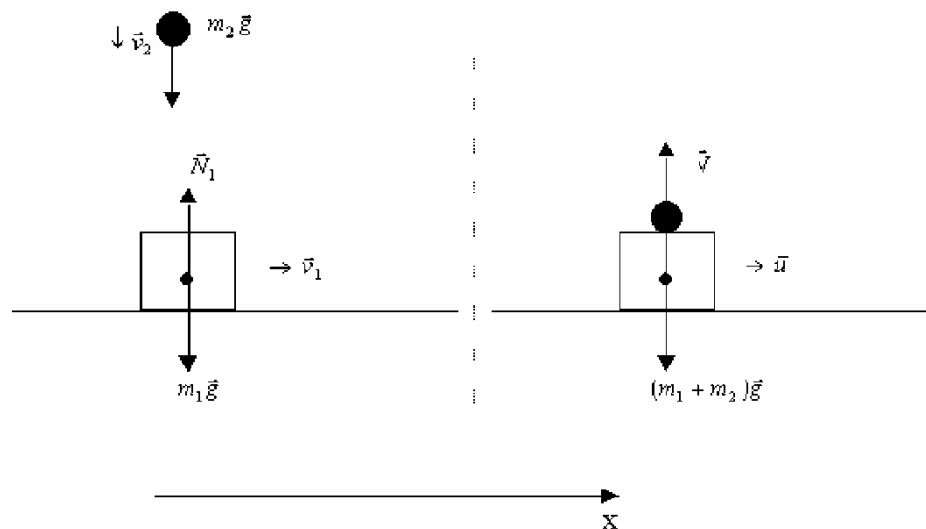
Векторная сумма всех внутренних сил равна нулю и поэтому векторная сумма импульсов тел системы равна сумме внешних сил, действующих на систему.

Итак, согласно векторная сумма импульсов тел системы (или импульс системы) изменяется за счет действия внешних сил.

Если взять **замкнутую систему**, т.е. систему, на которую не действуют внешние силы ($F_{t.} = 0$), то тогда выполняется **закон сохранения импульса**: *векторная сумма импульсов тел замкнутой системы остается постоянной или импульс \vec{P}_c центра масс замкнутой системы остается постоянным.*

Реально выделить замкнутую систему достаточно трудно. Но и в незамкнутых системах в ряде случаев можно использовать закон сохранения импульса. Перечислим их.

- **Внешние силы компенсируют друг друга.** Например, два тела, движущиеся по гладкой горизонтальной поверхности (отсутствуют силы трения) навстречу друг другу. В этом случае внешние силы - силы тяжести: m_1g , m_2g , нормальные силы реакции опоры компенсируют друг друга, а возникающие при столкновении тел внутренние силы, силы деформации, не могут изменить импульс системы.
- **Внешние силы не компенсируют друг друга, но их проекция на какую-либо ось остается равной нулю.** Хотя импульс системы изменяется, но его проекция на эту ось сохраняется. Примером такой системы является система, состоящая из двух тел, одно из которых движется по гладкой поверхности, а другое падает вертикально вниз со скоростью и испытывает абсолютно неупругое столкновение с первым телом. В результате этого они движутся с одинаковой скоростью, образуя единое целое (рис.6).



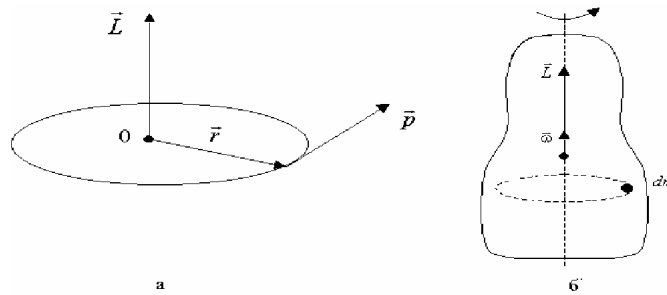
- Внешние силы значительно меньше по модулю внутренних сил, действующих между телами в системе. Это наблюдается при сильных кратковременных взаимодействиях: удар, выстрел, разрыв снаряда и т.д. В этих случаях изменение импульса каждого тела системы, в основном, определяется внутренними силами системы.

3) Твёрдое тело в механике. Момент импульса вращающегося тела.

Моментом импульса \vec{L} м.т. массы m , движущейся со скоростью \vec{v} относительно оси вращения, называют вектор, определяемый по формуле

$$\vec{L} = [\vec{r}; \vec{P}] = [\vec{r}; m\vec{v}]; \quad L = r \cdot P \cdot \sin \alpha$$

где \vec{P} - импульс м.т.; \vec{r} - радиус-вектор, соединяющий м.т. с осью вращения и перпендикулярный к этой оси. Направлен вектор момента импульса по правилу векторного произведения (по оси вращения).



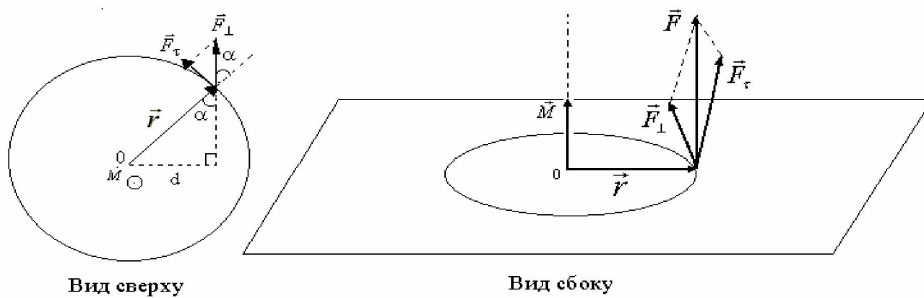
4) Момент силы.

Пусть к материальной точке массы m приложена сила \vec{F} ; ее составляющая в плоскости, перпендикулярной к оси вращения, обозначена как \vec{F}_\perp .

Моментом силы \vec{F} относительно оси вращения называют вектор, определяемый формулой:

$$\vec{M} = [\vec{r}; \vec{F}]; \quad M = r \cdot F \cdot \sin \alpha; \quad M = F \cdot d$$

где \vec{r} - это вектор, проведенный от оси вращения к м.т. (рис.8, ось вращения проходит через точку O перпендикулярно к вектору); $d = r \cdot \sin \alpha$ - **плечо силы** - кратчайшее расстояние от линии действия силы до оси вращения; вектор момента силы направлен вдоль оси вращения.



5) Момент инерции твёрдого тела.

Величина I , называемая **моментом инерции м.т. относительно оси вращения**, определяется соотношением:

$$I = m \cdot R^2$$

В случае однородного тела момент инерции относительно оси вращения можно определить по формуле:

$$I = \int_V \rho R^2 dV$$

где ρ – плотность вещества.

Приведем формулы для моментов инерции I тел правильной геометрической формы относительно оси вращения OO_1 , проходящей через их центр тяжести.

1. Сплошной однородный диск (или цилиндр) массы m , радиуса R и высоты h

$$I = \frac{1}{4} mR^2$$

2. Однородный шар массы m и радиуса R

$$I = \frac{2}{5} mR^2$$

3. Тонкий однородный стержень массы m и длины l

$$I = \frac{1}{12} ml^2$$

Для расчета момента инерции тела относительно произвольной оси вращения можно воспользоваться формулой **теоремы Штейнера**

$$I = I_0 + ma^2,$$

где I, I_0 - моменты инерции тела массы m относительно оси, проходящей через центр масс тела (I_0) и параллельной ей произвольной оси (I), отстоящей на расстоянии a .

б) Уравнение динамики вращающегося тела.

Если на м.т. действует момент сил, то происходит вращение вокруг оси, относительно которой создан момент вращения. При этом м.т. будет иметь момент импульса, направленный вдоль той же оси. По аналогии со вторым законом Ньютона можно записать:

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M} \quad \text{или} \quad \vec{\varepsilon} = \frac{\vec{M}}{I};$$

7) Закон сохранения момента импульса.

Рассмотрим систему, состоящую из N взаимодействующих между собой материальных точек, вращающихся вокруг какой-либо оси. Запишем для каждой м.т. основное уравнение динамики вращательного движения, выделяя отдельно моменты внешних \vec{M} и внутренних \vec{M}_{ik} сил.

$$\frac{d\vec{L}_1}{dt} = \sum_k \vec{M} + \sum_k \vec{M}_{1k}; \quad \frac{d\vec{L}_2}{dt} = \sum_k \vec{M} + \sum_k \vec{M}_{2k}; \dots; \quad \frac{d\vec{L}_N}{dt} = \sum_k \vec{M} + \sum_k \vec{M}_{Nk};$$

Просуммируем уравнения по всем м.т. системы, введем момент импульса L системы и учтем что согласно третьему закону Ньютона векторная сумма моментов внутренних сил, действующих на м.т., относительно оси вращения, равна нулю.

$$\sum_i \frac{d\vec{L}_i}{dt} = \sum_k \vec{M}_{ik} + \sum_k \vec{M}; \quad \sum_i \frac{d\vec{L}_i}{dt} = \frac{d\vec{L}}{dt}; \quad \sum_i \vec{M}_{ik} = 0$$

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = \vec{M}$$

Из формулы следует **закон сохранения момента импульса**, согласно которому момент импульса замкнутой системы остается постоянным относительно любой оси вращения

$$\vec{L} = const \quad \text{или} \quad \vec{L} = I \cdot \vec{\omega} = const$$

где I ; ω ; - момент инерции и угловая скорость вращения i - й м.т. системы.

При вращательном движении, как и при поступательном, общая масса тел замкнутой системы остается постоянной, но при вращательном движении внутренние силы могут изменить распределение массы относительно оси вращения, т.е. моменты инерции тел системы. Это при неизменном моменте импульса замкнутой системы приводит к изменению угловой скорости вращения входящих в нее тел.

Пример 1. При переходе человека (м.т.) массы m_x в центр платформы (однородный диск радиуса R) массы m_2 угловая скорость вращения платформы увеличивается.

Пример 2. При вращении фигуристки изменение положения ее рук приводит к изменению момента инерции фигуристки относительно вертикальной оси вращения и соответственно к изменению угловой скорости ее вращения.

Если фигуристка прижимает руки к телу, то тем самым она уменьшает свой момент инерции ($I_2 < I_1$) и увеличивает угловую скорость вращения.



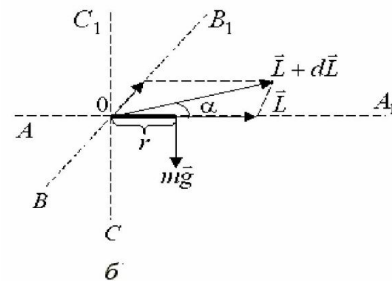
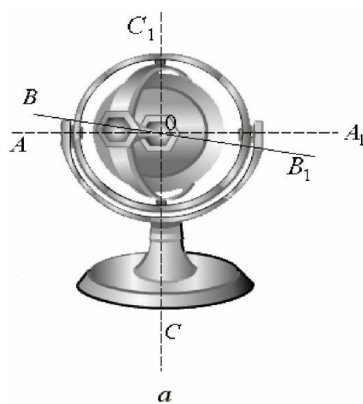
Пример 3. Скамья Жуковского. Человек стоит на скамье (их общий момент инерции относительно оси вращения равен I_1) и держит в руках колесо (его момент инерции I_2), способное вращаться вокруг вертикальной оси, совпадающей с осью вращения скамьи. Человек приводит во вращение колесо с угловой скоростью ω_2 . Тогда он со скамьей начнет вращаться в противоположную сторону с угловой скоростью ω_1 .

В этом опыте моменты инерции тел системы не изменяются, но внутренние силы совершают работу по изменению угловой скорости вращения входящих

в систему тел.

8) Гироскопы.

Под гироскопом понимают быстро вращающееся симметричное твердое тело, ось вращения которого (ось симметрии) может произвольно изменять свое положение в пространстве. Например, гироскопами являются детский волчок и массивный диск, закрепленный так, чтобы он мог свободно вращаться вокруг трех взаимно перпендикулярных осей AA_1 , BB_1 и CC_1 .



Применяемые в технике гироскопы обычно являются уравновешенными, т.е. их центры тяжести совпадают с центром подвеса (точка O) и поэтому моменты сил тяжести, действующих на них относительно любой оси вращения, равны нулю. В этом случае гироскоп можно рассматривать как замкнутую систему, для которой выполняется закон сохранения момента импульса.

Факт сохранения первоначального направления оси вращения гироскопа при любых его перемещениях и случайных кратковременных воздействиях используется в различных навигационных приборах, в которых фиксируется определенное направление оси вращения в пространстве (вертикальное направление, направление на северный географический полюс Земли и т.д.), относительно которого затем и определяется направление движения объекта и, по мере необходимости, корректируется его курс и местоположение.

Если внешняя сила будет действовать постоянно, то тогда поворот оси AA_1 будет происходить вслед за поворотом вектора L , и гироскоп будет вращаться вокруг оси с угловой скоростью, говорят, он будет совершать прецессию.

ТЕМА: Законы сохранения в механике.

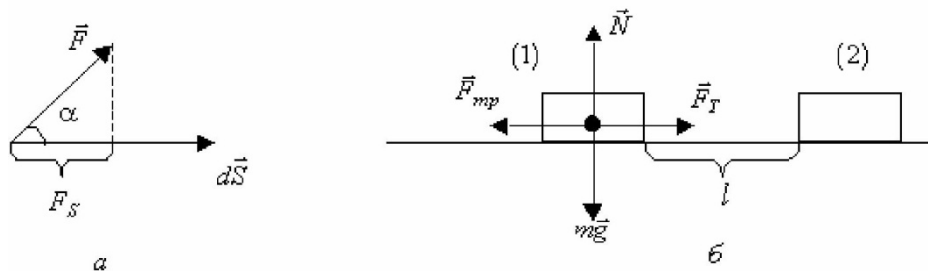
1) Работа силы. Кинетическая энергия тела. Теорема о кинетической энергии

Под элементарной работой dA , совершаемой силой F на элементарном перемещении ds , называют величину, равную скалярному произведению

$$dA = Fds = Fdscos\alpha = F_S dl,$$

где угол α - угол между векторами силы F и перемещением (рис.10а); ds - вектор элементарного перемещения,

dl - элементарный путь пройденный точкой приложения силы.



Работа силы на конечном перемещении равна сумме элементарных работ:

$$A = \int dA = \int \vec{F}d\vec{l}$$

Если сила постоянна ($F=\text{const}$), то ее работа на прямолинейном участке длины запишется следующим образом:

$$A = F l \cos.$$

Работа силы может быть положительной, отрицательной или равной нулю в зависимости от выбора системы отсчета и ориентации векторов силы и перемещения.

Чтобы ввести понятие о кинетической энергии W_k тела, запишем элементарную работу dA силы F в другом виде:

$$\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} ; dA = m \frac{d\vec{v}}{dt} \cdot d\vec{l} = m \cdot v dv$$

Тогда для работы силы F , переводящей тело из состояния 1 в состояние 2 можно записать:

$$A = \int_{v_1}^{v_2} m \cdot v dv = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$$

Из полученной формулы следует, что работа силы равна разности двух величин, определяющих начальное и конечное состояния тела. При этом условия перехода из состояния 1 в состояние 2 не оказывают влияние на записанное выражение. Поэтому можно ввести функцию состояния тела, его кинетическую энергию W_k как *величину, характеризующую способность тела совершать работу за счет изменения скорости его движения и равную*

$$W = \frac{mv^2}{2} + \text{const}$$

В этом выражении постоянную выбирают, предположив, что при нулевой скорости движения тела его кинетическая энергия равна нулю.

Введение W_k позволяет сформулировать теорему о кинетической энергии, согласно которой алгебраическая сумма работ всех сил, действующих на тело, равна приращению кинетической энергии тела:

$$\Delta W_k = \Delta A$$

Эта теорема широко используется для анализа взаимодействия тел не только в механике, но и в других разделах курса физики, таких как электростатика, постоянный ток, электромагнетизм, колебания и волны и т.д.

2) Кинетическая энергия вращающегося абсолютно твердого тела

Соотношение для тела, совершающего вращательное движение можно получить аналогичным образом. В итоге получим следующее соотношение:

$$W_k = \frac{I\omega^2}{2} + const$$

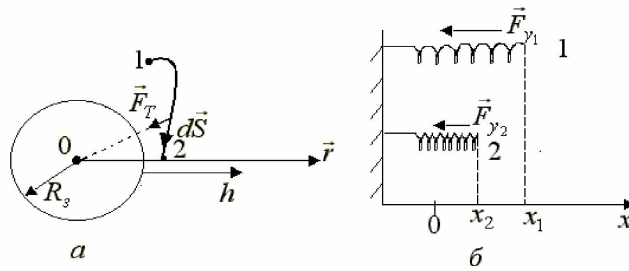
3) Потенциальная энергия взаимодействующих тел. Теорема о потенциальной энергии

Под **потенциальной энергией** W_p взаимодействующих тел или частей одного тела понимают величину, характеризующую их способность совершать работу за счет изменения взаимного расположения тел или частей одного тела. Потенциальная энергия в одинаковой степени характеризует все взаимодействующие тела или их части. При этом между ними действуют **консервативные силы**, *работа этих сил не зависит от траектории движения тел, но определяется их начальными и конечными положениями*. Потенциальные взаимодействия принято обычно описывать введением силового поля, а именно, считается, что одно тело взаимодействует в месте своего расположения с силовым полем, созданным другими телами.

Примерами консервативных сил в механике являются силы тяготения и упругости, а неконсервативных сил - силы трения, сопротивления, тяги, силы химических реакций, возникающих при разрыве снаряда, при выстреле и т.д. Название «консервативные» силы связано с тем, что полная механическая энергия W_M системы тел, взаимодействующих между собой посредством только консервативных сил, сохраняется.

1. Потенциальная энергия тела в поле тяготения Земли. Между телом (м.т.) массы m и Землей (однородный шар радиуса R_3) массы M_3 действует сила тяготения: $F = G \frac{mM_3}{R^2}$. Рассчитаем работу A_{12} силы тяготения при переходе тела из точки 1 в точку 2, находящихся соответственно на расстояниях r_1 и r_2 от центра Земли:

$$A_{12} = \int_1^2 F dr = G \int_1^2 \frac{mM_3}{R^2} dr = GmM \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$



Из формулы следует, что работа силы тяготения определяется убылью величин, зависящих только от начального и конечного положения тела и Земли. Значит, силы тяготения являются консервативными силами, а сами эти величины представляют собой потенциальные энергии гравитационного взаимодействия тела и Земли:

$$W_p = G \frac{mM_3}{r} + const$$

Потенциальная энергия W_p определяется с точностью до постоянной величины; ее нулевой уровень отсчета W_p выбирается произвольно для удобства решения конкретных задач.

2. Потенциальная энергия упругодеформированного тела.

Рассмотрим работу силы упругости при сжатии пружины из состояния 1 до состояния 2 (рис.11б) с координатами x_1 и x_2 соответственно:

$$A_{12} = \int_1^2 kx \cdot dx = \frac{kx_2^2}{2} - \frac{kx_1^2}{2}$$

Из соотношения следует, что сила упругости является консервативной силой.

Обобщая формулы, можно сформулировать **теорему о потенциальной энергии**: работа консервативных сил, действующих между телами или частями одного тела равна убыли их взаимной потенциальной энергии.

Для тела, движение которого слабо влияет на движение другого тела, создающего силовое поле, **теорему о потенциальной энергии** можно сформулировать так: *работа консервативных сил, действующих на тело, равна убыли потенциальной энергии тела в поле этих сил.*

4) Механическая энергия системы тел. Закон сохранения механической энергии.

Полной механической энергией W системы тел называют сумму кинетической энергии тел и потенциальной энергии их взаимодействия:

$$W = W_k + W_p.$$

Как уже отмечалось, для замкнутой системы из факта неуничтожимости движения материи справедлив закон сохранения всех видов энергий (механической, тепловой, электромагнитной, ядерной и т.д.)

$$W + W_{\text{мехл}} + W_{\text{эл}} + \mathcal{J}_{\text{яд}} + \dots = \text{const}.$$

В такой системе механическая энергия может изменяться за счет работы неконсервативных сил: они переводят ее в другие виды энергии (механическая энергия уменьшается, происходит ее диссипация, рассеяние), и, наоборот, другие виды энергии переходят в механическую энергию (она возрастает).

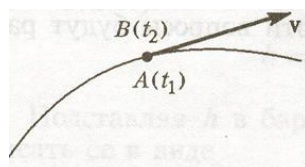
Среди всех неконсервативных сил выделяют **диссипативные силы** - это силы, которые приводят к уменьшению механической энергии системы. К ним, например, относят силы трения и сопротивления. Если же в замкнутой системе действуют только консервативные силы (такая система называется **замкнутой консервативной системой** - з.к.с), то тогда в ней выполняется **закон сохранения механической энергии**, который гласит: *механическая энергия замкнутой консервативной системы остается постоянной*

$$W = \text{const}$$

ТЕМА: Элементы механики сплошных сред.

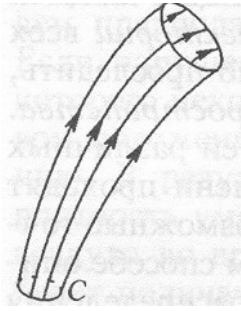
1) Кинематика жидкости.

Для описания движения жидкости нужно определить движение всех частиц. В каждой точке пространства находится частица массой m , которая имеет определенное направление вектора скорости v . Если соединить одной линией все частицы, имеющие одинаковую скорость, то получим *линию тока*.



Если поле скоростей не изменяется с течением времени, то течение называется *стационарным* или *установившимся*.

Если выделить в текущей жидкости произвольный замкнутый контур C и через каждую его точку провести линии тока в определенный момент времени, то получим *трубку тока*.



Рассмотрим трубку тока, вырезанную из пространства жидкости произвольным образом, и определим массу жидкости, проходящей через любое сечение трубки тока.

Объем жидкости, проходящий через сечение за время dt

$$\Delta V = \Delta S_{\perp} v \Delta t$$

$$S_{\perp} \perp \kappa \vec{v}$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \Delta S_{\perp} v$$

Тогда масса жидкости

$$\Delta m = \Delta V \rho = \rho v \Delta S_{\perp} \Delta t$$

$$\Delta \vec{S} = \Delta S \vec{n}$$

$$\vec{v} \Delta \vec{S} = v \Delta S \cos \alpha = v_n \Delta S = v \Delta S_{\perp} = \Phi_v - \text{поток вектора скорости}$$

Согласно закону сохранения массы:

$$\Delta m_1 = \Delta m_2$$

$$\rho_1 v_1 \Delta S_1 = \rho_2 v_2 \Delta S_2$$

$$\rho v \Delta S = \text{const} \quad \text{уравнение неразрывности}$$

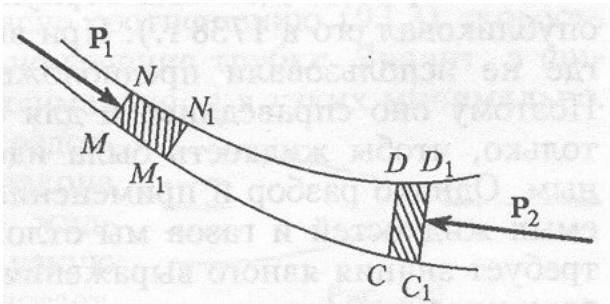
$$\rho_1 = \rho_2 - \text{жидкость несжимаемая}$$

$$v_1 \Delta S_1 = v_2 \Delta S_2$$

$$v \Delta S = \text{const}$$

2) Динамика жидкости. Уравнение Бернулли.

Рассмотрим течение идеальной жидкости в поле консервативных сил. В поле сил тяжести.



В сечении S_1 совершается работа

$$dA_1 = P_1 S_1 dl_1$$

$$dA_2 = P_2 S_2 dl_2$$

Или

$$dA_1 = P_1 dV_1, \quad dA_2 = P_2 dV_2$$

$$dV_1 = \frac{dm_1}{\rho_1}, \quad dV_2 = \frac{dm_2}{\rho_2}$$

$$dA_1 = P_1 \frac{dm_1}{\rho_1}, \quad dA_2 = P_2 \frac{dm_2}{\rho_2}$$

Полная энергия, затраченная на эту работу ($dm_1 = dm_2 = dm$)

$$dA_1 + dA_2 = dE$$

$$dE = \left(\frac{P_1}{\rho_1} - \frac{P_2}{\rho_2} \right) dm$$

$\frac{dE}{dm} = \varepsilon$ - энергия на единицу массы.

$$dE = (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) dm$$

$$\frac{P_1}{\rho_1} - \frac{P_2}{\rho_2} = \varepsilon_2 - \varepsilon_1 \quad \text{или} \quad \varepsilon_1 + \frac{P_1}{\rho_1} = \varepsilon_2 + \frac{P_1}{\rho_1}$$

$$\frac{P}{\rho} + \varepsilon = \text{const} - \text{уравнение Бернулли.}$$

ε – энергия единицы массы, складываемая из кинетической и потенциальной в поле сил тяжести

$$\varepsilon = \frac{v^2}{2} + gh$$

Тогда уравнение Бернулли:

$$\frac{v^2}{2} + gh + \frac{P}{\rho} = \text{const} = B - \text{постоянная Бернулли, она сохраняет свое значение}$$

вдоль одной и той же трубки тока.

1) Если $v = 0$, то $gh + \frac{P}{\rho} = \text{const}$, т.е. B постоянна для всего потока – жид-

кость в состоянии равновесия.

2) Если трубка расположена горизонтально, но имеет переменное сечение.
 $h = \text{const}$

$$\frac{v^2}{2} + \frac{P}{\rho} = \text{const}$$

Запишем уравнение Бернулли:

$$\frac{P_0}{\rho} + gh = \frac{P_0}{\rho} + \frac{v^2}{2}$$

В т. В скорость $v = 0$. Давление можно считать одинаковым и равным атмосферному, тогда $v = \sqrt{2gh}$ – скорость течения жидкости.

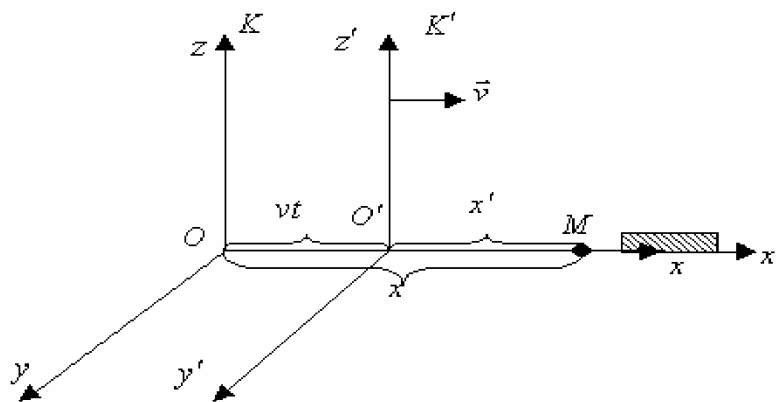
ТЕМА: Принцип относительности в механике.

1) Специальная теория относительности.

Специальная теория относительности (С.Т.О.) изучает свойства пространства и времени как двух форм существования материи в инерциальных системах отсчета. Обычно для удобства выбирают две ИСО – неподвижную K и подвижную K' , движущуюся относительно неподвижной с постоянной скоростью вдоль совпадающих осей Ox и $O'x'$. В начальный момент времени ($t=0$) начала координат этих систем отсчета - точки O и O' совпадают.

2) Преобразования Галилея. Принцип относительности Галилея.

В классической механике считается, что предельная скорость передачи взаимодействий в природе является бесконечно большой, поэтому из этого предположения следуют дополнительные свойства пространства и времени: пространство и время абсолютны, не связаны друг с другом; время течет одинаково во всех ИСО ($t=t'$); пространство и время не зависят от наличия вещества, пространство является пустымместищем материальных тел.



Дополнительные свойства пространства и времени, возникающие в классической механике, позволяют получить преобразования Галилея - это формулы, связывающие координаты и время одного и того же события в разных ИСО. Под событием понимают любое явление (выстрел из ружья, рождение частицы и т.д.), происходящее в одной точке пространства в какой-либо момент времени.

Учитывая дополнительные свойства пространства и времени, запишем преобразования Галилея:

$$X = X' + vt \quad Y = Y' \quad Z = Z' \quad t = t'$$

Принцип относительности Галилея является следствием опытных фактов и утверждает равноправие всех ИСО по отношению к происходящим в них механическим явлениям. Приведем различные эквивалентные формулировки этого принципа относительности: 1) никакими механическими опытами, находясь внутри ИСО, нельзя установить движется она равномерно и прямолинейно или покоится; 2) все законы механики выглядят, записываются одинаково во всех ИСО; 3) все механические явления протекают одинаково во всех ИСО; 4) все законы механики инвариантны относительно преобразований Галилея.

3) Постулаты С.Т.О. Опытное обоснование постулатов.

Специальная теория относительности была создана А. Эйнштейном в 1905 г. В ее основе лежат два постулата - принцип относительности Эйнштейна и постулат о постоянстве скорости света в вакууме. Приведем несколько эквивалентных формулировок **первого постулата** специальной теории относительности (**принципа относительности Эйнштейна**): 1) никакими физическими опытами, находясь внутри ИСО, нельзя установить движется она равномерно и прямолинейно или покоится; 2) все законы физики выглядят, записываются одинаково во всех ИСО; 3) все физические явления протекают одинаково во всех ИСО; 4) все законы физики инвариантны относительно преобразований Лоренца.

Согласно **второму постулату С.Т.О.** скорость света в вакууме одинакова во всех ИСО и не зависит от движения источника и приемника света. Этот постулат является необычным с обычной точки зрения, но он был подтвержден во многих опытах; среди которых наиболее известным является опыт Майкельсона и Морли (1881-1887 гг.).

Следствием второго постулата С.Т.О. является тот факт, что предельная скорость передачи взаимодействий в природе является конечной и равной скорости света в вакууме. Это приводит к новым дополнительным свойствам пространства и времени в С.Т.О.

4) Преобразования Лоренца. Дополнительные свойства пространства и времени в С.Т.О.

Общие свойства пространства и времени остаются и в С.Т.О., поэтому преобразования Лоренца как и преобразования Галилея, будут линейными по ко-

ординатам и времени. Добавится только коэффициент β , учитывающий второй постулат С.Т.О. и зависящий от скорости движения тела и скорости света в вакууме. Итак, запишем преобразования Лоренца:

$$x = \frac{x' + v_0 t}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

$$y = y'$$

$$z = z'$$

$$t = \frac{t' + \frac{v_0}{c^2} \cdot x'}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

Коэффициент $\beta = \frac{v_0^2}{c^2}$, где v и c скорости тела и скорость света соответственно.

При малых скоростях движения тел $v \ll c$ коэффициент $\beta \ll 1$ и поэтому преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея. Поэтому говорят, что *классическая механика - это механика малых скоростей движения тел, а релятивистская механика - механика скоростей движения тел, близких к скорости света в вакууме*. Релятивистская механика включает в себя как частный случай ($v \ll c$) классическую механику.

Из формул для преобразования времени следуют дополнительные свойства пространства и времени в С.Т.О.:

- в формулы для преобразования времени входят координаты, это означает, что пространство и время как две формы существования материи существуют в неразрывном единстве, они взаимосвязаны друг с другом;
- из формул следует, что $t \neq t'$, т.е. время течет по-разному в разных ИСО.

Эти свойства пространства и времени приводят к необычным с обычной точки зрения эффектам как в кинематике, так и в динамике.

5) Кинематика С.Т.О. Понятие «одновременность» двух событий.

Пусть в СО. K' происходят одновременно ($t_1 = t_2$) два события в разных точках пространства ($x_1 \neq x_2$). Необходимо выяснить, будут ли эти события одновременными в СО. K .

Для ответа на этот вопрос используем преобразования Лоренца и найдем разность $t_2 - t_1$. Эта разность отлична от нуля, т.е. эти события не будут одновременными в СО. K . Следовательно, **понятие одновременности двух событий**

является относительным - события, происходящие одновременно в одной ИСО, не будут одновременными в других ИСО.

Только в частном случае $x_1 = x_2$ события будут одновременными во всех ИСО.

В классической механике $v \ll c$ и поэтому $t_2 = t_1$ т.е. понятие одновременности двух событий является абсолютным - они будут одновременными во всех ИСО.

6) Понятие «длина» предмета.

Пусть в СО K' вдоль оси Ox' располагается неподвижный стержень, длина которого может быть найдена как разность координат его концов $l_0 = x_2 - x_1$. Необходимо определить длину этого стержня в СО K , относительно которой он движется со скоростью v_0 .

Для определения длины l стержня используем преобразования Лоренца, из которых получим:

$$l = l_0 \cdot \sqrt{1 - \beta^2}$$

В этой формуле через l_0 обозначена **собственная длина стержня**, это длина стержня в той ИСО, относительно которой он неподвижен.

7) Понятие «промежуток времени» между двумя событиями.

Пусть в СО K' в одной точке пространства ($x_1 = x_2$) происходят два события или протекает какой-либо процесс. Промежуток времени $t' = (t'_2 - t'_1)$ в СО K' можно измерить одними часами, находящимися в этой точке пространства. Возникает вопрос, чему равняется этот промежуток времени в СО K .

Вполне понятно, что промежуток времени t нужно измерять двумя часами, расположенными в разных точках оси Ox - в одной точке ($x = x_1$) находятся часы, измеряющие время одного события ($t = t_2$) или начало процесса, а во второй ($x = x_2$) находятся часы, измеряющие время другого события ($t = t_1$) или окончание процесса.

Для определения t используем преобразования Лоренца:

$$t' = t \cdot \sqrt{1 - \beta^2}$$

где t_0 - **собственный промежуток времени**, он измеряется одними часами в той ИСО, относительно которой события происходят в одной точке пространства, это инвариант С. Т. О.

Из формулы следует, что

- $t > t_0$, т.е. в движущейся ИСО происходит замедление хода времени; движущиеся часы идут медленнее покоящихся;
- $t_0 < t$, т.е. собственный промежуток времени между двумя событиями является наименьшим из всех возможных промежутков времени для этих событий.

8) Релятивистский закон сложения скоростей.

Пусть вдоль совпадающих осей Ox и Ox' систем отсчета K и K' в их положительном направлении с постоянной скоростью движется тело.

Необходимо найти формулы связи между \mathbf{u} и \mathbf{u}' ; в данном случае между u_x и u'_x . Для этого в преобразованиях Лоренца возьмем бесконечно малые (элементарные) приращения координат и времени, а затем получим компоненты вектора скорости:

$$u_x = \frac{u'_x + u_0}{1 + \frac{u_0 u'_x}{c^2}}; \quad u_y = \frac{u'_y \cdot \sqrt{1 - \beta^2}}{1 + \frac{u_0 u'_x}{c^2}}; \quad u_z = \frac{u'_z \cdot \sqrt{1 - \beta^2}}{1 + \frac{u_0 u'_x}{c^2}};$$

Формулы представляют собой закон сложения скоростей в релятивистской механике. При малых скоростях движения тел ($\mathbf{u} \ll c$) эти формулы переходят в закон сложения скоростей классической механики.

9) Динамика С.Т.О. Релятивистский импульс и масса тела

Второй закон Ньютона не является релятивистски инвариантным, т.е. он не удовлетворяет первому постулату С.Т.О., не удовлетворяет преобразованиям Лоренца. Получить релятивистски инвариантную формулу закона не удастся из-за усложнения в С.Т.О. взаимосвязи между действующей на тело силой и ускорением тела, они в общем случае даже не совпадают по направлению. В СТО импульс тела, движущегося в $CO K$ со скоростью \mathbf{u} , запишется следующим образом:

$$\vec{P} = \frac{m_0 \cdot \vec{u}}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

где m_0 - **масса покоя тела**. Это масса, измеренная в той ИСО, где тело неподвижно, это инвариант С.Т.О.

Для второго закона Ньютона в $CO K$ запишем:

$$\vec{F} = \frac{d}{dt} \left(\frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}} \cdot \vec{u} \right)$$

10) Кинетическая энергия тела в С.Т.О.

Пусть на тело, движущееся в СО K со скоростью u , действует сила F . Запишем теорему о кинетической энергии для этого тела

$$dW_k = dA$$

Перепишем полученную формулу в другом виде, используя выражение для второго закона Ньютона в релятивистской механике:

$$dW_k = \frac{d}{dt} \left(\frac{m_0 u}{\sqrt{1 - \beta^2}} \right) \cdot u \cdot dt; \quad dA = F \cdot dr; \quad dr = u \cdot dt$$

откуда следует:

$$W_k = (m - m_0)c^2 + const.$$

Постоянная в этом уравнении выбирается из условия равенства нулю кинетической энергии неподвижного тела, и в релятивистской механике для кинетической энергии тела получается окончательное выражение

$$W_k = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}} - 1 \right).$$

При малых скоростях движения тела ($u \ll c$) первое слагаемое можно разложить в ряд и ограничиться первыми двумя его членами, что приводит к хорошо известному в классической механике выражению для кинетической энергии тела

$$W_k = \frac{mu^2}{2}$$

11) Закон взаимосвязи массы и энергии тела.

Анализируя соотношение для кинетической энергии, Эйнштейн предположил, что полная энергия тела должна складываться из энергии его движения (кинетической энергии) и энергии покоящегося тела, его внутренней энергии, т.е. определяет полную энергию.

$$W = m_0 c^2 + W_k$$

Это и есть закон взаимосвязи между массой и энергией. В соответствии с ним любое изменение энергии тела сопровождается изменением его массы и наоборот.

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА И ТЕРМОДИНАМИКА

ТЕМА: Микроскопические состояния.

1) Предмет молекулярной физики. Статистический и термодинамический методы исследования.

Молекулярная физика и термодинамика — разделы физики, в которых изучаются зависимости свойств тел от их строения, взаимодействия между частицами, из которых состоят тела, и характера движения частиц.

Для исследования физических свойств макроскопических систем, связанных с огромным числом содержащихся в них атомов и молекул, применяют два качественно различных и взаимно дополняющих друг друга метода: *статистический* (молекулярно-кинетический) и *термодинамический*.

Статистический метод — это метод исследования систем из большого числа частиц, оперирующий *статистическими* закономерностями и *средними* (усредненными) значениями физических величин, характеризующих всю систему.

Этот метод лежит в основе *молекулярной физики* — раздела физики, изучающего строение и свойства вещества исходя *из молекулярно-кинетических* представлений, основывающихся на том, что *все тела состоят из атомов, молекул или ионов находящихся в непрерывном хаотическом движении*.

Термодинамический метод — это метод исследования систем из большого числа частиц, оперирующий величинами, характеризующими *систему в целом* (например, давление, объем, температура) при различных превращениях энергии, происходящих в системе, *не учитывая* при этом внутреннего строения изучаемых тел и характера движения отдельных частиц.

Этот метод лежит в основе *термодинамики* — раздела физики, изучающего общие свойства макроскопических систем, находящихся в состоянии термодинамического равновесия, и процессы перехода между этими состояниями.

Термодинамика имеет дело с *термодинамической системой* — совокупностью макроскопических тел, которые взаимодействуют и обмениваются энергией как между собой, так и с другими телами (внешней средой).

Термодинамические системы, не обменивающиеся с внешней средой ни энергией, ни веществом, называются *замкнутыми*.

Состояние системы задается *термодинамическими параметрами* (параметрами состояния) — совокупностью физических величин, характеризующих свойства термодинамической системы. Обычно в качестве параметров состояния выбирают *температуру, давление и объем*.

Параметры состояния системы могут изменяться. Любое *изменение* в термодинамической системе, связанное с изменением хотя бы одного из ее термодинамических параметров, называется *термодинамическим процессом*. Если для данной системы внешние условия не изменяются и состояние системы с течением времени не меняется, то эта система находится в *термодинамическом равновесии*.

2) Температура.

Температура — физическая величина, характеризующая состояние термодинамического равновесия макроскопической системы и определяющая направление теплообмена между телами. Тела, находящиеся в тепловом равновесии между собой, имеют одинаковую температуру. Понятие температуры неприменимо к системе из небольшого числа атомов. В настоящее время используют две температурные шкалы:

- **Международная практическая шкала (шкала Цельсия)** градуированная в градусах Цельсия ($^{\circ}\text{C}$) по двум **реперным точкам** — температурам замерзания и кипения воды при давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па, которые принимаются соответственно 0°C и 100°C .

- **Термодинамическая температурная шкала (шкала Кельвина)**. градуированная в градусах Кельвина (К)) определяется по одной реперной точке — **тройной точке воды** — температуре, при которой лед, вода и насыщенный пар при давлении 609 Па находятся в термодинамическом равновесии. Температура этой точки по данной шкале равна 273,16 К. Температура $T = 0 \text{ K}$ называется **нулем Кельвина**.

Термодинамическая температура (Т) и температура (t) по Международной практической шкале связаны соотношением

$$T = 273,15 + t^{\circ}$$

Нормальные условия: $T_0 = 273,15 \text{ K} = 0^{\circ}\text{C}$, $p_0 = 101325 \text{ Па}$.

3) *Идеальный газ. Газовые законы.*

В термодинамике *идеальными* называются газы строго подчиняющиеся закону:

$$\frac{PV}{T} = const$$

Все прочие газы называются *реальными*. Опыт показывает, что для 1 моля любого идеального газа это отношение равно:

$$\frac{PV}{T} = R$$

где $R=8,31$ Дж/(моль*К) – универсальная газовая постоянная.

Для ν молей: $PV = \nu RT$.

Закон Бойля-Мариотта: для данной массы газа m при постоянной температуре T произведение давления p на объем V есть величина постоянная:

$$PV = const \text{ при } T = const \text{ и } m = const$$

Кривая, изображающая зависимость между P , T и V , характеризующая свойства вещества при постоянной температуре, называется ***изотермой***. Изотермы — гиперболы, расположенные на графике тем выше, чем выше температура происходящего процесса.

Закон Авогадро: моли любых газов при одинаковой температуре и давлении занимают одинаковые объемы.

Количество вещества ν — физическая величина, определяемая числом специфических структурных элементов — молекул, атомов или ионов, из которых состоит вещество.

Единица количества вещества — моль — количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится в 0,012 кг изотопа углерода ^{12}C .

В одном моле различных веществ содержится одно и то же число молекул N_A , называемое *числом Авогадро*: $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$

Закон Дальтона: Давление смеси идеальных газов равно сумме парциальных давлений p_1, p_2, \dots, p_n входящих в нее газов:

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_i \quad P = \sum P_i$$

Парциальное давление — давление, которое производил бы газ, входящий в состав газовой смеси, если бы он один занимал объем, равный объему смеси при той же температуре.

Закон Гей-Люссака: объем данной массы газа при постоянном давлении изменяется линейно с температурой:

$$V = V_0(1 + at), \text{ при } P = \text{const}; m = \text{const}.$$

Закон Шарля: давление данной массы газа при постоянном объеме изменяется линейно с температурой: $p = p_0(1 + at)$, при $V = \text{const}$, $m = \text{const}$.

Уравнение состояния: Опыт показывает, что в состоянии термодинамического равновесия P, V и T находятся в функциональной зависимости не только для идеальных газов, но и для реальных газов, а также для любых физически однородных тел:

$$F(P, V, T) = 0$$

Вид этой функции зависит от свойств системы (тела):

Для идеальных газов: $PV = \nu RT$

Для реальных газов: $(P + a/V^2)(V - b) = RT$ - для 1 моля.

Таким образом:

- Давление идеального газа при данной температуре прямо пропорционально концентрации его молекул.
- При одинаковых температуре и давлении все газы содержат в единице объема одинаковое число молекул.

4) **Макроскопические параметры.**

Внешние (V, E, W и др.)

Внутренние (P, ρ, γ и др.)

В состоянии термодинамического равновесия каждый внутренний параметр является функцией внешних параметров и температуры системы.

5) **Число ударов молекул о стенку сосуда.**

В газах при нормальных условиях среднее расстояние между молекулами велики по сравнению с их эффективным диаметром. Для достаточно разреженного газа можно пренебречь размерами молекул. Такое приближение приводит нас к модели идеального газа.

Определим число ударов молекул о стенку сосуда в единицу времени. В силу хаотичности теплового движения молекулы летят к стенке в разных направлениях. Разделим все молекулы на множество групп. В каждой i -ой группе они летят под углом θ к нормали площадки. Пусть n_i – концентрация молекул i -ой группы, v_i – их скорость. За время dt до стенки долетит dN_i молекул:

$$dN_i = n_i \sigma v_i \cos \theta dt$$

Тогда число столкновений, приходящихся на единицу площади σ в единицу времени t :

$z_i = \frac{dN_i}{\sigma dt} = n_i v_i \cos \theta_i$ - для i -ой группы молекул. Для нахождения полного числа столкновений z необходимо просуммировать по всем группам молекул:

$$z = \int_0^{\pi/2} dz = \int_0^{\pi/2} \frac{1}{2} n v \sin \vartheta \cos \vartheta d\theta = \frac{1}{4} n v$$

Учитывая распределение молекул по скоростям в последней формуле следует принять $\langle v \rangle$:

$$\langle z \rangle = \frac{1}{4} n \langle v \rangle$$

б) Давление газа с точки зрения МКТ.

Пусть газ заключен в закрытый сосуд и молекулы его все одинаковы. Возьмем на стенку сосуда малую площадку σ . При столкновении с площадкой молекула изменит свой импульс на противоположный:

$$\Delta p^* = 2 p \cos \theta$$

По II закону Ньютона $F = \Delta p / \Delta t$ – сила, действующая на стенку со стороны молекул со скоростью v в интервале углов $\theta \div \theta + d\theta$.

Имеем:
$$dF_i = \frac{2p \cos \theta \cdot dN}{dt}$$

Давление, производимое молекулами указанной группы:

$$dP_i = \frac{dF_i}{\sigma} = \frac{2p \cos \theta \cdot dN}{\sigma dt}$$

Полное давление найдем интегрированием по всем группам молекул:

$$P = \int_0^{\pi/2} npv \cos^2 \vartheta \sin \vartheta d\vartheta = \frac{1}{3} npv$$

С учетом распределения по скоростям: $P = \frac{1}{3} n \langle vp \rangle$ или:

$$P = \frac{1}{3} m_0 n \langle v^2 \rangle$$

7) *Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы молекул.*

Поступательное движение.

Молекула имеет 3 поступательные степени свободы. Ввиду хаотичности теплового движения все направления скорости равновероятны, поэтому в среднем одинаковы кинетические энергии, связанные с этими направлениями. Т.о., в состоянии теплового равновесия на каждую поступательную степень свободы молекулы приходится одна и та же энергия:

$$\langle \varepsilon_i \rangle = \frac{1}{2} k T$$

Вращательное движение.

Учитывая, что молекулы имеют собственную структуру, и кроме поступательного движения могут еще вращаться, вычистим их кинетическую энергию вращения подобно кинетической энергии твердого тела.

Если тело, состоящее из N частиц, вращается с угловой скоростью ω , то его момент импульса: $L = \omega \cdot J$, или $L = \sum m_i r_i v_i$. Тогда средняя кинетическая энергия вращения:

$$\langle \varepsilon_{\text{вр}} \rangle = \frac{J \omega^2}{2} = \frac{L^2}{2J}$$

После преобразований получаем:

$$\langle \varepsilon_{\text{вр}i} \rangle = \frac{1}{2} kT \cdot \frac{1}{J} \sum m_i r_i^2 = \frac{1}{2} kT$$

Следовательно, на одну вращательную степень свободы так же приходится энергия $\frac{1}{2} kT$.

Закон (классический) равномерного распределения энергии по степеням свободы:

Если система молекул находится в тепловом равновесии при температуре T , то средняя кинетическая энергия равномерно распределена между всеми степенями свободы и для каждой степени свободы она равна $\frac{1}{2} kT$.

Колебательное движение.

Между атомами в молекуле возможны колебания вдоль химических связей. Если их амплитуды достаточно малы, то колебания можно считать гармоническими. Атомы в этом случае являются гармоническими осцилляторами, которые обладают механической энергией $E = E_k + E_n$, средние значения которых равны между собой:

$$\langle \varepsilon_k \rangle = \langle \varepsilon_n \rangle = 1/2 kT$$

Следовательно на каждую колебательную степень свободы приходится средняя энергия $\langle \varepsilon_{\text{колеб}} \rangle = 2 \cdot 1/2 kT = kT$.

ТЕМА: Статистические распределения.

1) Элементы теории вероятностей.

Случайные величины.

Пусть некоторая случайная величина X может принимать ряд дискретных значений $x_1, x_2, x_3, \dots, x_i, \dots$. Величина $P_i = \frac{N_i}{N}$ называется вероятностью того, что величина x в произвольном испытании примет значение x_i . Такое определение справедливо для большого числа испытаний.

Так как $\sum N_i = N$, то $\sum P_i = \frac{\sum N_i}{N} = 1$, то есть сумма вероятностей всех возможных значений величины x равна 1.

Среднее значение величины X .

Если вероятность значения x_i для величины x равна P_i , то в $N_i = P_i \cdot N$ испытаниях x имеет значения x_i . Тогда сумма значений x в этих N_i испытаниях равна: $x_i N_i = x_i P_i N$, а сумма значений x во всех N испытаниях:

2) Непрерывно распределенная величина $\langle x \rangle = \sum x_i P_i$

Рассмотрим случай непрерывного распределения величины x в интервале от a до b (в частном случае $-\infty, +\infty$). Пусть x – некоторая характеристика молекулы. Число значений x бесконечно велико, а кол-во молекул хоть и велико, но ограничено. Поэтому понятие вероятности для молекулы иметь какое-то конкретное значение x_i теряет свой смысл. Здесь правомерен другой вопрос: какова вероятность того, что у любой случайно взятой молекулы величина x имеет значение, лежащее в интервале от x до $(x+dx)$? Эта вероятность равна: $dP_x = f(x)dx$, где $f(x)$ – функция плотности вероятности.

- Физический смысл функции $f(x)$: она определяет вероятность величины x для единичного интервала dx в окрестности точки x .

- Условие нормировки: $\int_a^b f(x)dx = 1$
- Функция $f(x)$ называется *функцией распределения вероятности* Среднее значение величины x и любой функции, зависящей от x : $\langle x \rangle = \int_a^b xf(x)dx$,
 $\langle x^2 \rangle = \int_a^b x^2 f(x)dx$
- Знание функции распределения позволяет определить вероятность для любого интервала ($x_1 \div x_2$):

$$P(x_1 \div x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x)dx$$

Функция $f(x)$ зависит от природы случайной величины x .

3) Закон Максвелла для распределения молекул по скоростям.

Пусть в закрытом сосуде находится большое число N молекул газа. Внешние силовые поля отсутствуют.

Распределение молекул по проекциям скорости.

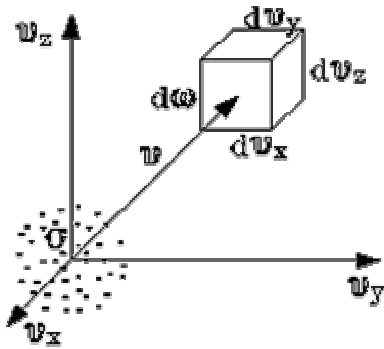
Определим вероятность того, что проекция v_x скорости молекулы попадет в заданный интервал: $dP(v_x \div v_x + dv_x) = \varphi(v_x) dv_x$, где $\varphi(v_x)$ искомая плотность вероятности. Для определения функции $\varphi(v_x)$ следует положить, что столкновения молекул не нарушают общего равновесия (выполняется принцип детального равновесия).

$\varphi(v_x) = A_1 e^{-\frac{mv_x^2}{2kT}}$ - плотность вероятности, приходящаяся на одну степень свободы молекулы. Значение константы A_1 находят из условия нормировки:

$$A_1 = \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Распределение молекул по векторам скорости.

Какова вероятность того, что все три компоненты скорости молекулы попадут в заданный интервал значений? Будем искать попадание в скоростные интервалы: $(v_x \div v_x + dv_x)$, $(v_y \div v_y + dv_y)$, $(v_z \div v_z + dv_z)$. Им соответствуют функции плотности вероятности: $\varphi(v_x)$, $\varphi(v_y)$, $\varphi(v_z)$.



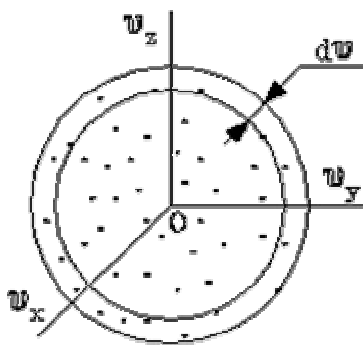
Вопрос о распределении молекул по скоростям сводится к вопросу о распределении молекул в пространстве скоростей. Рассмотрим в пространстве скоростей малый параллелепипед с рёбрами dv_x , dv_y , dv_z . Попадание вектора \mathbf{v} в элемент скоростного пространства есть сложное событие, являющееся произведением событий А,В,С. Его вероятность определим по теореме о умножении вероятности:

$$dP(\mathbf{v}, d\mathbf{w}) = dP_x dP_y dP_z = A^3 e^{-\frac{m_0}{2kT}(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)} \cdot dv_x dv_y dv_z$$

Обозначим: $f(\mathbf{v}) = \frac{dP}{d\mathbf{w}}$ - плотность вероятности заданного вектора скорости.

Тогда эта функция примет вид :
$$f(\mathbf{v}) = \left(\frac{m_0}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}}$$

Распределение газа по абсолютным значениям скорости.



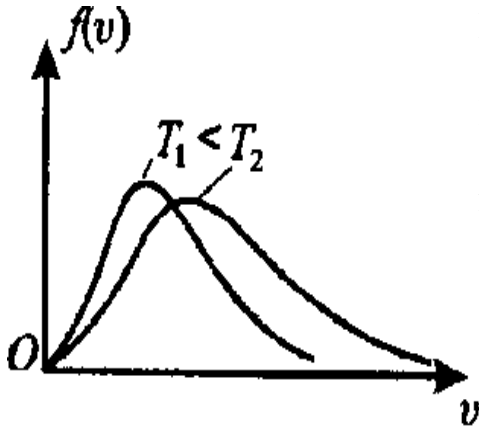
Какова вероятность того, что *модуль* скорости v будет иметь заданное значение в бесконечно малой окрестности dv ? Плотность распределения точек в фазовом пространстве скоростей зависит от числа N и от расстояния от центра (т.е. от модуля v): $\rho_v = N \cdot f(v)$. Выделим шаровый слой радиуса v шириной dv . Во всем объеме этого слоя плотность постоянна. Тогда число молекул в этом слое:

$$dN_v = N \cdot f(v) \cdot dv \cdot 4\pi v^2$$

Разделим на N и найдем вероятность:

$$\frac{dN_v}{N} = f(v) \cdot 4\pi v^2 \cdot dv = F(v) dv$$

Находим функцию Максвелла: $F(v) = \frac{m_0}{2\pi kT} \frac{3}{2} 4\pi v^2 \cdot e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}}$



Вид кривой распределения зависит от T и массы молекул (форма и положение максимума кривой). Площадь под кривой равна 1 (условие нормировки). Функция $F(v)$ ассиметрична, проходит через начало координат. При повышении T максимум смещается вправо. **Физический смысл:** функция $F(v)$ есть вероятность того, что случайно взятая частица попадет в единичный интервал скоростей в окрестности некоторого значения v .

Функция имеет максимум:

$$v_n = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}}$$

Среднее значение модуля скорости:

Вычисляя, находим

$$\langle v \rangle = \int_0^{\infty} v F(v) dv$$

$$\langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}}$$

Эта скорость называется средней арифметической.

Найдем среднеквадратичную скорость:

4) **Распределение Больцмана** — **барометрическая формула** в предположении, что температура атмосферы не меняется по высоте. На малом перепаде высот dh давление падает на величину веса столба воздуха с сечением в единицу площади и высотой dh , т.е.

$$dp = -\rho g dh$$

Это уравнение можно переписать в виде

$$\frac{dp}{p} = -\frac{\mu g dh}{RT}$$

Проинтегрируем обе части полученного уравнения, полагая, что давление на "нулевой" высоте равно p_0 . Получим

$$p = p_0 e^{-\frac{\mu g h}{RT}}$$

Полученная формула называется барометрической: давление в изотермической атмосфере падает с высотой по показательному закону. Так как молекулярная плотность при постоянной температуре пропорциональна давлению газа, то этот же закон имеет место и для концентрации газа:

$$n_\alpha = C e^{-\frac{E(\alpha)}{kT}} .$$

Формула для концентрации является выражением некоторого общего закона, лежащего в основе всей теории идеального газа - закона Больцмана. Суть этого закона заключается в следующем.

Закон Больцмана гласит: *молекулы идеального газа распределены по данному параметру по экспоненциальному закону вида $\exp(-E(h)/kT)$. Постоянная C называется нормировочной постоянной. Обычно она находится из условия нормировки.*

ТЕМА: Основы термодинамики.

1) Квазистатические процессы.

И начало термодинамики выражает *принцип сохранения энергии* в макроскопических явлениях, протекающих в термодинамических системах. Он был сформулирован в 40-х годах 19 в., когда было установлено, что теплота – это не вещество (теплород), а какое-то внутреннее движение. Позже оно было объяснено, как тепловое движение атомов и молекул, что позволило расширить понятие «энергия» на внутренние процессы: работа диссипативных сил приводит к образованию энергии из механической во *внутреннюю*.

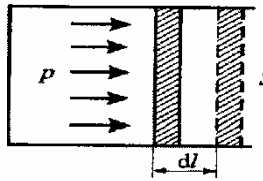
Однако в феноменологической термодинамике понятие теплоты выводилось из опытных фактов и общих принципов, без обращения к атомистическим представлениям.

В теоретической термодинамике широко используют *квазистатические процессы*.

Квазистатический процесс – есть идеализированный процесс, состоящий из непрерывно следующих друг за другом состояний равновесия.

Однако не всякий медленный процесс является равновесным (например, теплопроводность и др.).

2) Работа газа в термодинамике.



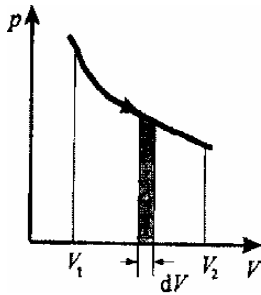
Рассмотрим газ в цилиндре под поршнем. Вычислим малую работу δA , совершаемую газом при квазистатическом расширении dV :

$$\delta A = F \cdot dl, \quad \text{где } F = P \cdot S.$$

$$\text{Тогда: } \delta A = P \cdot S \cdot dl = P \cdot dV, \quad \delta A = P \cdot dV$$

Это равенство справедливо и в общем случае квазистатического расширения любого тела, находящегося под внешним давлением.

Работа внешних сил: $\delta A_{\text{внеш}} = - \delta A$. В случае неравновесных процессов это равенство несправедливо.



Для любого конечного процесса:

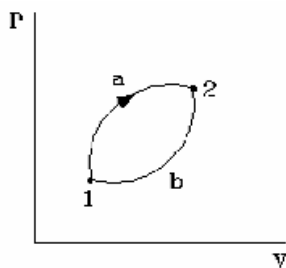
$$A = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

Т.к. функции $P=P(V,T)$ различны для разных процессов, поэтому работа — функция процесса:

- Изотермический процесс: $A = \nu RT \ln (V_2 / V_1)$
- Изобарный процесс: $A = P(V_2 - V_1)$
- Изохорный процесс: $A = 0$

Равновесные процессы можно изображать *графически* в координатах (p, V) . Так работа $\delta A = p dV$ определяется площадью заштрихованной полоски, а полная работа — площадью под кривой между V_1 и V_2 .

Круговым процессом (или циклом) называют процесс, при котором, пройдя ряд состояний, система возвращается в исходное термодинамическое состояние.



$$\text{В круговом процессе } A = A_{\text{расш}} - A_{\text{сжат}}, \quad A = \oint P dV$$

3) *Внутренняя энергия.*

Джоуль показал, что нагреть воду в калориметре можно не только в результате теплообмена, но и при совершении над ней работы. Тем самым доказано, что никакой разницы между Q и A не существует, поэтому они должны измеряться в одинаковых единицах – Дж. 1 калория это такая энергия, подвод которой вызывает нагревание 1 гр. воды при $P_0 = 10^5 \text{ Па}$ на 1°C . В опытах Джоуля было показано, что Q есть некая форма внутреннего движения, которая может быть сообщена телу путем теплообмена или при совершении механической работы. Мера этого движения называют *внутренней энергией* тела. **Внутренней энергией** системы называется функция состояния, приращение которой во всяком процессе, совершаемом системой, в адиабатической оболочке, равно работе внешних сил над системой при переходе ее из начального равновесного состояния в конечное так же равновесное состояние.

4) *1 начало термодинамики.*

Рассмотрим произвольный процесс, в котором принимает участие термодинамическая система. Первое начало термодинамики можно выразить следующим уравнением:

$$\Delta U = A + Q$$

Приращение энергии системы в термодинамическом процессе равно сумме работы и количества теплоты.

Если процесс круговой, то $U_1 = U_2$, то $A = -Q$. В круговом процессе все количество теплоты, полученное системой, идет на производство внешней работы. Поэтому невозможен процесс, единственным результатом которого является производство работы без подведения тепла (каких либо изменений в других телах), т.е. невозможен *вечный двигатель I рода*.

5) *Функции состояния и функции процесса.*

Рассмотрим переход термодинамической системы из 1 состояния во 2 состояние различными путями. Приращение ΔU не связано со способом перехода из 1 в 2. Такая функция называется *функцией состояния*.

Функция состояния – любая однозначная функция параметров, определяющих состояние термодинамической системы. Функция состояния не зависит от способа перехода системы в это состояние (пример: U, S, I, F)

Функция процесса – величина, имеющая смысл только при изменении параметров и теряющая смысл при их фиксации (пример: Q, A, C).

б) Теплоемкость.

Теплоемкостью тела C называют отношение количества теплоты δQ , полученному телом, к соответствующему приращению dT его температуры:

$$C = \delta Q / dT$$

Различают удельную и молярную теплоемкости:

$$C_{уд} = \delta Q / (m \cdot dT); \quad C_v = \delta Q / (\nu \cdot dT)$$

Как следует из определения, C зависит от способа, каким систему переводят из одного состояния в другое. Следовательно, теплоемкость есть функция процесса.

- Изотермический процесс $dT=0, \delta Q \neq 0 \rightarrow C_T = \pm \infty$.
- Адиабатический процесс $\delta Q=0 \rightarrow C=0$.
- Изохорный процесс $C_V = (\partial U / \partial T)_V$, т.к. $dV=0$.
- Изобарный процесс $C_p = C_v + R$

Одноатомный газ.

Молекулы – материальные точки, могут совершать только поступательное движение. $i_{пост}=3$. Энергия молекулы:

$$\langle \epsilon \rangle = i \cdot 1/2 kT = 3/2 kT$$

Тогда внутренняя энергия газа равна: $U = 3/2 R T$ – для 1 моля.

Для ν молей: $U = 3/2 \nu R T$.

Молярная изохорная теплоемкость:

$$C_v = \frac{dU}{dT} = \frac{3}{2} R \approx 12,5 \frac{\text{Дж}}{\text{моль К}} \left(3 \frac{\text{кал}}{\text{моль К}} \right)$$

Двухатомный газ.

Для жестких молекул: $i_{пост}=3, i_{вр}=2, \langle \epsilon \rangle = i \cdot 1/2 kT = 5/2 kT$

Для упругих молекул: $i = i_{пост} + i_{вр} + 2i_{колеб}, \langle \epsilon \rangle = i \cdot 1/2 kT = 7/2 kT$

Многоатомный газ.

Полное число степеней свободы системы из N несвязанных частиц равно: $i=3N$, из них: $i_{\text{пост}}=3$, $i_{\text{вр}}=3$, $i_{\text{колеб}}=3N-6$.

Тогда полная энергия одной молекулы: $\langle \epsilon \rangle = i \cdot 1/2 kT$, где $i = i_{\text{пост}} + i_{\text{вр}} + 2i_{\text{колеб}}$

$$i = 6 + 2(3N - 6) = 6N - 6$$

Изохорная теплоемкость: $C_V = \frac{i}{2} R$,

Изобарная теплоемкость: $C_P = C_V + R = \frac{i+2}{2} R$

Показатель адиабаты: $\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{i+2}{i}$

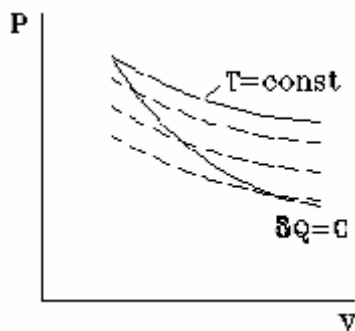
Внутренняя молярная энергия многоатомных газов с жесткими молекулами:

$$U = N_A \cdot 3 k T = 3RT$$

7) Применение I начала термодинамики к различным процессам.

- Изохорный процесс: $dA=0 \rightarrow dU=dQ$, где $dQ = C_V T$.
- Изобарный процесс: $dU=dQ+PdV$. Преобразовывая это равенство, приходим к уравнению Р.Майера: $C_P = C_V + R$
- Изотермический процесс: $T=const$, $U=const$, $dU=0 \rightarrow dU=dA$
- Адиабатический процесс: $dQ=0 \rightarrow dU=-dA \rightarrow dU=-PdV$.

Преобразовывая это уравнение, получим закон, описывающий адиабатический процесс (закон Пуассона):



$$PV^\gamma = const$$

$\gamma=1,67$ – для одноатомных газов

$\gamma=1,4$ – для двухатомных газов

$\gamma=1,33$ – для многоатомных газов

Связь между C и γ : $C_V = \frac{R}{\gamma-1}$, $C_P = \frac{\gamma R}{\gamma-1}$.

8) Обратимые и необратимые процессы.

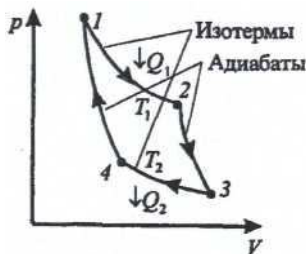
Если в результате какого-либо процесса система переходит из состояния А в состояние В и если возможно ее вернуть в исходное состояние А, так, чтобы

во всех остальных телах не произошло никаких изменений, то этот процесс называется **обратимым**.

Неквасистатический процесс идет с конечной скоростью, которая при этом входит в число внутренних параметров системы. В прямом и обратном процессах v отличается направлением. Эти различия исчезают только в бесконечно медленном процессе.

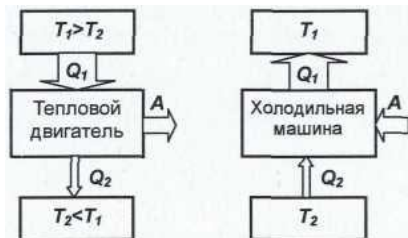
II начало термодинамики позволяет судить о направленности процессов, которые могут происходить в действительности. II начало термодинамики позволяет решить вопрос о количественной мере температуры и построить рациональную температурную шкалу, не зависящую от выбора термометрического тела. Основоположник II начала т.д. французский инженер С.Карно. Он исследовал условия превращения тепла в работу.

9) Цикл Карно



Тепловой двигатель — это периодически действующий двигатель, совершающий работу за счет полученной извне теплоты.

Термостатом называется термодинамическая система, которая может обмениваться теплотой с телами практически без изменения собственной температуры.



Рабочее тело — это тело, совершающее круговой процесс и обменивающееся энергией с другими телами.

Принцип работы теплового двигателя: от термостата с более высокой температурой T_1 , называемого *нагревателем*, за цикл *отнимается* количество теплоты Q_1 , а термостату с более низкой температурой T_2 , называемому *холодильником*, передается количество теплоты Q_2 , при этом за цикл совершается полезная работа, равная $A = Q_1 - Q_2$.

Цикл Карно состоит из двух изотерм и двух адиабат.

Вычислим КПД цикла Карно.

(1-2) изотермическое расширение $Q_{12} = A_{12} = \nu RT \ln (V_2 / V_1)$

(2-3) адиабатическое расширение $Q_{23} = 0$

(3-4) изотермическое сжатие $Q_{34} = A_{34} = \nu RT \ln (V_4/V_3) < 0$

(4-1) адиабатическое сжатие $Q_{41} = 0$

За весь цикл: Работа, совершаемая в результате кругового процесса,

$$A = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41} = Q_1 - Q_2$$

Для адиабат 2-3 и 4-1 из уравнения Пуассона находим: $T_1 V_2^{\gamma} = T_2 V_3^{\gamma}$,

$T V^{\gamma} = T_2 V_4^{\gamma}$, откуда $V_1 V_2 = V_3 V_4$.

Тогда работа за цикл: $A = \nu R \ln \frac{V_2}{V_1} (T_1 - T_2)$

КПД цикла Карно: $\eta = \frac{A}{Q_1}$

$$\eta = \frac{\nu R \ln \frac{V_2}{V_1} (T_1 - T_2)}{\nu R T \ln (V_2 / V_1)}$$

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Проблема тепловой машины Карно состоит в том, что существует принципиально неконвертируемая в работу часть от Q_1 (равная Q_2), которая зависит от разности температур T_1 и T_2 .

10) Основные формулировки II начала термодинамики.

Формулировка Клаузиуса (1850 г.):

Теплота не может самопроизвольно переходить от тела менее нагретого к телу более нагретому. Под Q подразумевается U .

Такой процесс возможен лишь при совершении внешней работы (т.е. при изменениях в окружающих телах, а не самопроизвольно). Устройство, работающее по обратному циклу, совершающее работу по отбору тепла Q_2 у менее нагретых тел и передачи большего количества тепла Q_1 более нагретым телам, называется **холодильной машиной**. Ее КПД определяется формулой:

$$\eta = \frac{Q_2}{A}$$

Формулировка Томсона (Кельвина) (1851 г.):

Невозможен круговой процесс, единственным результатом которого было бы производство работы за счет охлаждения теплового резервуара.

Под тепловым резервуаром понимают тело (систему тел), находящихся в состоянии термодинамического равновесия и обладающего запасом внутренней энергии. Если конкретизировать, каким способом должна совершаться работа A , то можно получить множество разнообразных формулировок. Одна из них принадлежит Планку.

Формулировка Планка:

*Невозможно построить **периодически действующую** машину, единственным результатом которой было бы поднятие груза за счет охлаждения теплового резервуара.*

Из невозможности процесса Томсона-Планка (т.е. гипотетически допускающего отрицаемую возможность) следует невозможность процесса Клаузиуса и наоборот. Таким образом, формулировки эквивалентны друг другу.

11) Неравенство Клаузиуса. Энтропия в термодинамике.

Из I начала термодинамики: $Q_1 + Q_2 = A$ ($Q_2 < 0$). На основании II теоремы Карно:

$$\frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Или

$$\frac{Q_2}{T_2} \leq -\frac{Q_1}{T_1}$$

Откуда находим

$$\frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_1}{T_1} \leq 0$$

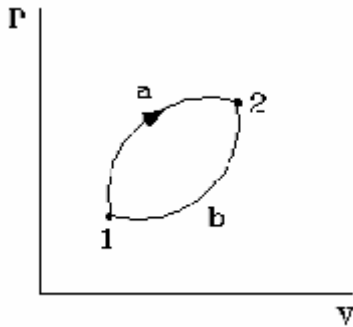
Это соотношение называется Неравенством Клаузиуса.

Обозначим $Q^* = \frac{Q}{T}$ - данное отношение называется приведенной теплотой. Ее приращение в малом процессе:

$$\delta Q^* = \frac{\delta Q}{T}$$

При суммировании приведенной теплоты по всем малым циклам в итоге получаем приведенную теплоту по внешней границе цикла. Обобщая сказанное, имеем: $\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$. Это неравенство Клаузиуса для общего случая (произвольного цикла):

Суммарное приведенное количество теплоты, полученное системой в произвольном циклическом процессе всегда ≤ 0 .



Рассмотрим квазистатический круговой процесс. Покажем, что система в результате каких-либо изменений состояния обратимым путем, переходит из 1 в 2, то величина

$$\int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$$

не зависит от пути, по которому происходит переход 1-2. В прямом процессе $\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$

В обратном процессе $-\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$

В совокупности: $\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$. Представим это в виде суммы:

$$\int_{1-a}^2 \frac{\delta Q}{T} + \int_{2-b}^1 \frac{\delta Q}{T} = 0$$

Но вследствие необратимости

$$\int_{2-b}^1 \frac{\delta Q}{T} = -\int_{1-b}^2 \frac{\delta Q}{T}$$

Тогда $\int_{1-a}^2 \frac{\delta Q}{T} = \int_{1-b}^2 \frac{\delta Q}{T}$.

Таким образом, приведенное количество тепла, полученное системой в квазистатическом процессе, не зависит от пути (процесса), а зависит только от начального и конечного состояния.

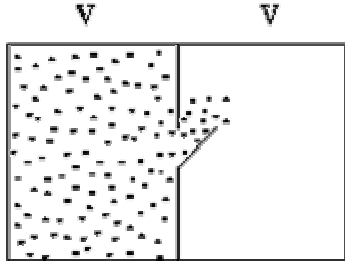
Можно записать: $S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$

Величина S называется **энтропией**. Энтропия – функция состояния системы, изменение которой равно приведенному количеству теплоты, полученному системой в любом квазистатическом процессе. Энтропия определяется с точностью до произвольной постоянной S_0 .

$S=S(P, V, T)$ - энтропия – однозначная функция параметров, аддитивна.

В теплоизолированной системе возможны только такие процессы, при которых энтропия **возрастает или остается неизменной**. В теплоизолированной системе не возможны процессы с убыванием энтропии. Закон возрастания энтропии эквивалентен II началу термодинамики.

12) Энтропия. Статистический смысл.



Дадим статистическое толкование понятию энтропия. Будем рассматривать макроскопическое тело как конгломерат движущихся молекул. Движение молекул сложно и запутанно. Если первоначально в системе имеется какая-то упорядоченность, то тепловое движение молекул будет непременно размывать и ликвидировать эту упорядоченность. Состояние же равновесия, к которому неизбежно приходит любая, предоставленная сама себе макросистема, соответствует максимально возможному беспорядку. Энтропия, очевидно, является какой-то количественной мерой молекулярного беспорядка.

Состояние механической системы можно задать, указав координаты и скорости всех частиц системы. Такое состояние называется *микроскопическим* (или «микросостоянием»). Каждая частица занимает ячейку в фазовом пространстве $\omega(x, v)$. Следовательно, указать микросостояние системы – значит указать совокупность ячеек в фазовом пространстве, которые занимает каждая частица персонально.

Макросостояние системы предполагает указание ее макропараметров: P, T, V . Оно требует ответа: сколько частиц в данной ячейке не зависимо от того, какие это частицы.

Число микросостояний, которыми может быть реализовано данное макросостояние, называется *термодинамической вероятностью* или *статистическим весом* - Ω . Чем ближе система к равновесному состоянию, тем больше ее статистический вес. В состоянии термодинамического равновесия ее статистический вес максимален. Следовательно, величина Ω ведет себя как S . Она служит мерой неупорядоченности системы. При максимальной упорядоченности $\Omega=1$. Однако Ω - неаддитивная величина : $\Omega = \Omega_1 \cdot \Omega_2 \cdot \Omega_3 \cdot \Omega_4 \cdot \Omega_5 \dots$, где Ω_i – статвеса частей системы. Больцман предложил в качестве меры неупорядоченности использовать функцию:

$$S = k \ln \Omega$$

Её свойства:

- S – мера беспорядка;
- $S = \sum S_i$ – аддитивная величина;
- S – функция макросостояния;
- В статистической физике: все состояния равновероятны, поэтому если система переходит в какое-то макросостояние, то наиболее вероятным будет ее переход в состояние с большим статистическим весом, т.е. с большей энтропией S .

13) Третье начало термодинамики.

Теорема Нернста: при понижении температуры до абсолютного нуля энтропия любой системы стремится к некоторому пределу, не зависящему от параметров системы.

Следствие 1.

Невозможно достичь абсолютного нуля температур за конечное число процессов (циклов).

Следствие 2.

При $T=0$ все процессы происходят при $S=S_0=const$:

$$\lim_{T \rightarrow 0} S = 0$$

При $T \rightarrow 0$ для всех тел должны стремиться к 0 температурный коэффициент объемного расширения и температурный коэффициент давления.

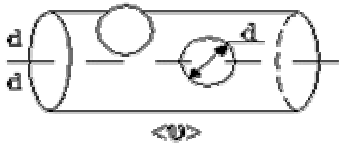
ТЕМА: Явления переноса в неравновесных системах.

1) Понятие о физической кинетике.

Ранее рассматривались равновесные состояния и квазистационарные процессы. Нарушение равновесия происходит под действием внешних сил или процессов. Оно сопровождается возникновением градиентов температуры, импульса или концентрации примеси. В системах с $grad T$ возникают потоки тепла (теплопроводность), $grad \mathbf{u}$ – перенос импульса упорядоченного движения (вязкость), $grad n$ – диффузионные потоки частиц (диффузия).

Явления теплопроводности, вязкости и диффузии имеют общую природу, связаны с кинетикой теплового движения, поэтому их объединяют под общим названием: **явления переноса.**

2) Длина свободного пробега и эффективный диаметр молекул.



Найдем среднее число столкновений молекулы газа с другими молекулами в одну секунду. За секунду молекула в среднем пройдет путь, равный средней скорости. Столкновения "искажают" ее путь, но это обстоятельство для нашего расчета несущественно. Обозначим эффективный диаметр молекулы через d и молекулу представим как шар. Тогда число столкновений z молекулы с другими молекулами в секунду будет равно числу молекул, центры которых находятся в цилиндре длиной, численно равной $\langle v \rangle$, и диаметром $2d$. Это число выражается формулой

$$z = \langle v \rangle \cdot \pi d^2 \cdot n$$

С учетом движения других молекул:

$$z = \sqrt{2} \pi d^2 \langle v \rangle n$$

Опираясь на эту формулу, нетрудно найти и *среднюю длину свободного пробега* молекулы. Это - путь, который проходит молекула между двумя столкновениями (или приходящийся на одно столкновение).

$$\langle \lambda \rangle = \frac{\langle v \rangle}{z} = \frac{1}{\sqrt{2} \pi d^2 n}$$

Длина свободного пробега молекул не зависит от температуры. Зная длину свободного пробега, можно рассчитать так называемые коэффициенты переноса: диффузии, теплопроводности и внутреннего трения (вязкости). Все три явления подчиняются общему по форме закону.

При диффузии газов речь идет о проникновении одного газа в другой за счет теплового движения. При диффузии переносится масса некоторого компонента в смеси газов.

Опыт показывает, что плотность потока диффузии (число диффундирующих молекул в секунду через единичную площадку, ориентированную пер-

пендикулярно потоку диффузии) пропорциональна градиенту молекулярной плотности данного компонента смеси.

То есть

$$j_o = -D \frac{dn}{dx}$$

При теплопроводности газа происходит перенос энергии в виде теплоты. Плотность потока теплоты пропорциональна градиенту температуры. То есть:

$$j_m = -\chi \frac{dE}{dx} .$$

Наконец, в случае внутреннего трения определяется сила трения, а сила есть поток импульса, так что в этом случае речь идет о переносе импульса упорядоченного движения газа. Плотность потока импульса (сила внутреннего трения, рассчитанная на единицу площади слоя газа) пропорциональна градиенту скорости движения газа, т.е.

$$j_u = -\mu \frac{dU}{dx} .$$

Таким образом, во всех трёх случаях речь идет о переносе какой-то величины (массы, энергии, импульса). Во всех трёх случаях плотность потока переносимой величины пропорциональна градиенту некоторой другой величины (плотности, температуры, скорости). В этом заключается общность законов диффузии, теплопроводности и внутреннего трения.

Расчеты дают выражения для коэффициентов переноса:

$$\chi = \frac{1}{3} \langle \lambda \rangle \langle v \rangle \frac{i}{2} kn .$$

Рассуждая аналогично, можно доказать законы диффузии и вязкости и для коэффициентов диффузии и вязкости найти следующие формулы:

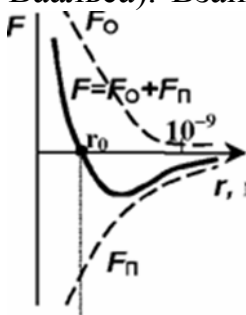
$$D = \frac{1}{3} \langle \lambda \rangle \langle v \rangle, \quad \eta = \frac{1}{3} \langle \lambda \rangle \langle v \rangle m n,$$

ТЕМА: РЕАЛЬНЫЕ ГАЗЫ

1) Силы межмолекулярного взаимодействия.

В модели идеального газа пренебрегали взаимодействием молекул (вне столкновений). При понижении температуры и при повышении давления наблюдается отступление от закона Клапейрона-Менделеева, что объясняется интенсивным взаимодействием молекул в плотных газах.

Молекулярные силы имеют электрическую природу. В целом молекулы электрически нейтральны, но заряды в них пространственно разделены, что и приводит к существованию кулоновского притяжения и отталкивания. На больших расстояниях эти силы являются силами притяжения (силы Ван-дер-Ваальса). Взаимная поляризация молекул и дипольное взаимодействие приводит к возникновению дисперсионных сил. Кроме того, возникают дипольно-ориентационные силы, зависящие от T газа.



Если расстояние между молекулами велико по сравнению с d , то дисперсионные и дипольно-ориентационные силы убывают $\sim r^{-7}$. На близких расстояниях преобладает отталкивание. Из квантовой механики известно, что силы отталкивания велики и экспоненциально убывают с ростом расстояния между молекулами. Взаимодействие молекул удобно описывать потенциальной энергией $W(r)$. Молекулы будем считать сферическими. На рисунке изображен графически потенциал Ленарда-Джонса, представляющий собой аппроксимацию зависимости $W(r)$ для реальных газов:

2) Уравнение Ван-дер-Ваальса.

$$W(r) = \frac{a}{r^{12}} - \frac{b}{r^6}$$

Каждая молекула окружена как бы сферой непроницаемости для других молекул. Это приводит к тому, что свободный объем для движения молекул фактически оказывается меньше, чем объем сосуда, в котором находится газ, на некоторую величину b , равную сумме собственных объемов молекул.

Отталкивание молекул будет учтено, если в уравнении Клапейрона вместо объема V подставить $V-b$. Уравнение состояния для моля газа примет вид:

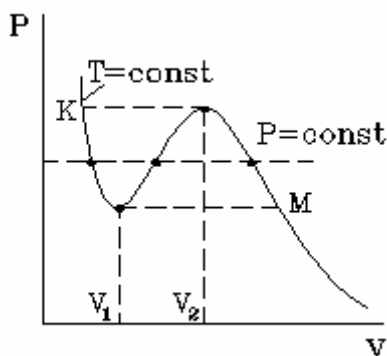
$$P = \frac{RT}{V - b}$$

Учтем теперь притяжение молекул, возникающее на расстояниях, превышающих радиус сближения. Притяжение молекул уменьшает давление. Вблизи стенки сосуда на каждую молекулу действует направленная от стенки сила, образованная от суммарного действия других молекул (вблизи стенки каждая молекула с одной стороны, со стороны газа окружена другими). Эта сила тем больше, чем ближе молекулы друг к другу, т.е. чем больше плотность газа n . Приблизённо можно считать, что сила, оттягивающая каждую молекулу от стенки, пропорциональна n . Но давление газа создается не одной молекулой, а их множеством, и поэтому оно, в свою очередь, тем больше, чем больше плотность газа n (пропорционально n). В связи с этим можно считать, что общий эффект уменьшения давления за счет притяжения молекул друг к другу пропорционален n^2 . Но $n = N/V$. Поэтому, поправка, уменьшающая давление за счет притяжения молекул, будет пропорциональна N^2/V^2 . Итак, окончательное уравнение состояния для моля неидеального газа может быть представлено в виде:

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{V^2}$$

Это и есть уравнение Ван-дер-Ваальса. Постоянные b и a называются поправками Ван-дер-Ваальса. Для каждого газа они определяются из опыта, поэтому и называются полуэмпирическими.

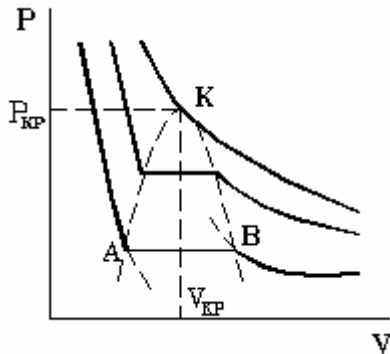
3) Изотермы Ван-дер-Ваальса.



Рассмотрим поведение изотермы Ван-дер-Ваальса для реального газа. Уравнение изотермы совпадает непосредственно с уравнением, указанным выше, в предположении, что температура газа постоянна. Представим это уравнение в виде степенного, для чего

умножим обе части уравнения на $V^2(V-b)$. Тогда оно примет вид уравнения третьей степени по объему:

$$pV^3 - pbV^2 = RTV^2 - aV - ab$$



Уравнение третьей степени имеет либо один, либо три действительных корня. Более внимательный анализ этого уравнения показывает, что оно имеет три действительных корня при достаточно низких температурах (при высоких же температурах при всех давлениях имеет место один корень). Рассмотрим этот случай.

Существование трёх действительных корней для объема при фиксированных температуре и давлении означает, что изотерма в некоторой области давлений пересекает изобару в трёх местах. Такая ситуация может возникнуть, если изотерма имеет вид, изображённый на рисунке. В области "извилины" (участок KM) изотерма трижды пересекает изобару. На участке $[V_1, V_2]$ давление растёт с увеличением объема. Такая зависимость совершенно нереальна. Это может означать, что в данной области с веществом происходит что-то необычное. Что именно это, к сожалению, невозможно увидеть из приближенного уравнения Ван-дер-Ваальса. Необходимо обратиться к опыту. Опыт показывает, что в области "извилины" на изотерме в состоянии равновесия вещество расслаивается на две фазы: на жидкую и газообразную. Обе фазы сосуществуют одновременно и находятся в фазовом равновесии.

В фазовом равновесии протекают процессы испарения жидкости и конденсации газа. Они идут с такой интенсивностью, что полностью компенсируют друг друга: количество жидкости и газа с течением времени остается неизменным. Газ, находящийся в фазовом равновесии со своей жидкостью, называется насыщенным паром. Если фазового равновесия нет, нет компенсации испарения и конденсации, то газ называется ненасыщенным паром.

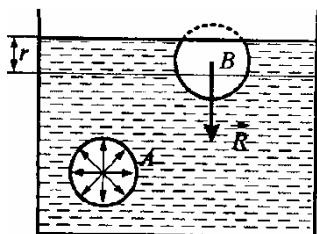
Опыт показывает, что в области "извилины" изотермы Ван-дер-Ваальса при изменении объема давление остается постоянным. График изотермы идет параллельно оси V . С уменьшением объема системы идет увеличение количества жидкости и уменьшение количества пара, пока весь пар не превратится в жидкость. После наступления такого состояния (полного исчезновения пара) изотерма идет круто вверх, в соответствии с плохой сжимаемостью жидкости

(даже для слабого уменьшения объема жидкости необходимо весьма большое увеличение давления.) Таким образом, участок изотермы левее точки А соответствует жидкости, участок правее точки В - газу, а участок АВ - двухфазному состоянию жидкость - газ. При этом изотерма пройдет через так называемые метастабильные состояния Это - состояния неустойчивого равновесия: перегретая жидкость (жидкость должна бы закипеть, но не закипает) и переохлажденный пар (должен был бы выпасть туман, но из-за отсутствия центров конденсации он не выпадает). По мере увеличения температуры участок двухфазных состояний на изотермах сужается, пока не превратится в точку. Это особая точка К, в которой исчезает различие между жидкостью и паром. Она называется критической точкой. Параметры, соответствующие критическому состоянию, называются критическими (критическая температура, критическое давление, критическая плотность вещества). Наличие критической точки для двухфазных систем жидкость - газ является примечательным свойством вещества. Оно свидетельствует о том, что газ в жидкость (и наоборот, жидкость в газ) можно превратить двумя способами: через процессы испарения и конденсации (фазовый переход) и, минуя последние, непрерывно. При непрерывном превращении газа в жидкость процесс идет в обход критической точки. Где-то вблизи критической изотермы газ постепенно приобретает свойства жидкости. Параметры критической точки газа Ван-дер-Ваальса:

$$V_k = 3b, \quad P_k = \frac{a}{27k}, \quad T_k = \frac{8a}{27b}.$$

ТЕМА: Конденсированное состояние.

1) Поверхностное натяжение.



Жидкость является агрегатным состоянием вещества, промежуточным между газообразным и твердым. В газах нет закономерности во взаимном расположении молекул (хаотическое расположение). В твердых телах наблюдается дальний порядок — молекулы образуют кристаллическую решетку. В жидкостях дальний порядок отсутствует, а имеет место ближний порядок в расположении молекул — их упорядоченное расположение повторяется на расстояниях, сравнимых с межатомными. Тепловое движение молекулы в жидкости это ее колебание около определенного положения равновесия в течение некоторого времени, после чего молекула скачком переходит в новое положение, отстоящее от исходного на расстояние порядка межатомного. *Радиус r молекулярного действия* — расстояние (порядка 10^{-9} м), при котором можно пренебречь силами притяжения между молекулами жидкости. Сфера радиусом r называется *сферой молекулярного действия*.

Силы, действующие на молекулу A внутри объема жидкости со стороны окружающих молекул, в среднем скомпенсированы. Для молекулы B , расположенной на поверхности равнодействующая сил R направлена внутрь жидкости. Результирующие силы всех молекул поверхностного слоя оказывают на жидкость *молекулярное (внутреннее) давление*.

Молекулы поверхностного слоя жидкости обладают большей потенциальной энергией, чем молекулы внутри жидкости. Эта дополнительная энергия, называемая *поверхностной энергией*, пропорциональна площади поверхности: $\Delta E = \sigma \Delta S$, где σ — *коэффициент поверхностного натяжения*.

Так как равновесное состояние характеризуется минимумом потенциальной энергии, то жидкость при отсутствии внешних сил будет принимать такую форму, чтобы при заданном объеме она имела минимальную поверхность, т.е. форму шара. Пусть под действием сил поверхностного натяжения поверхность жидкости стянулась, при этом силы, действующие на элемент Δl конту-

ра, совершают работу $\Delta A = f \Delta l \Delta x$, где f — сила поверхностного натяжения, действующая на единицу длины контура поверхности жидкости. Поскольку эта работа совершается за счет уменьшения поверхностной энергии $\Delta A = \Delta E$, то $\sigma = f$, т.е. *поверхностное натяжение* σ равно силе поверхностного натяжения приходящейся на единицу длины контура, ограничивающего поверхность.

Единица поверхностного натяжения — ньютон на метр (Н/м) или джоуль на квадратный метр (Дж/м²).

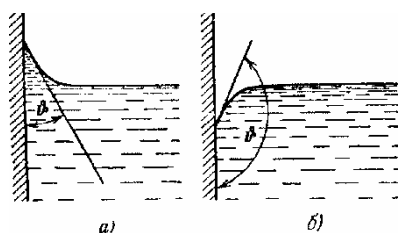
2) Краевые углы. Смачивание. Несмачивание.

Смачиванием называется явление *искривления свободной поверхности жидкости* при соприкосновении жидкости с поверхностью твердого тела.

Поверхность жидкости, искривленная на границе с твердым телом, называется *мениском*.

Линия, по которой мениск пересекается с твердым телом, называется *периметром смачивания*.

Явление смачивания характеризуется *краевым углом* θ между поверхностью твердого тела и мениском в точках их пересечения (в точках



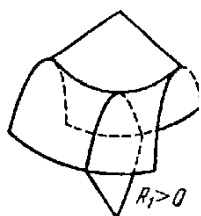
периметра смачивания). Жидкость называется *смачивающей* твердое тело, если краевой угол острый: $0 < \theta < \pi/2$ (рис.а) и *несмачивающей*, если $\pi/2 < \theta < \pi$ (рис.б).

Если $\theta = 0$ смачивание считается *идеальным (полным)*.

Случай $\theta = \pi$ — это *идеальное (полное) несмачивание*.

Если силы *притяжения между молекулами твердого тела и жидкости* больше, чем силы притяжения молекул жидкости друг к другу, то жидкость будет смачивающей. Если *молекулярное притяжение в жидкости* превышает силы притяжения молекул жидкости к молекулам твердого тела, то жидкость не смачивает твердое тело

3) Давление под искривленной поверхностью. Формула Лапласа.



Сферическая выпуклая поверхность производит на жидкость дополнительное давление, вызванное силами внутреннего натяжения, направленными внутрь жидкости, $\Delta P = 2 \frac{\sigma}{R}$, где R — радиус сферы. Если поверхность жидкости

вогнутая, то сила поверхностного натяжения направлена из жидкости и давление внутри жидкости: $\Delta P = -2 \frac{\sigma}{R}$.

Избыточное давление внутри мыльного пузыря радиуса R вызывается действием обоих поверхностных слоев тонкой сферической мыльной пленки:

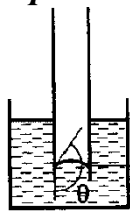
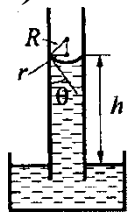
$$\Delta P = 4\sigma/R.$$

В общем случае избыточное давление для произвольной поверхности жидкости выражается формулой Лапласа:

$$\Delta P = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

Где R_1 и R_2 – радиусы кривизны двух любых взаимно перпендикулярных сечений поверхности жидкости в данной точке.

4) Капиллярные явления.



Капиллярами называются узкие цилиндрические трубки с диаметром менее миллиметра.

Капиллярностью называется явление изменения уровня жидкости в капиллярах.

Жидкость в капилляре поднимается или опускается на такую высоту h , при которой давление столба жидкости (*гидростатическое давление*) ρgh уравновешивается избыточным давлением Δp :

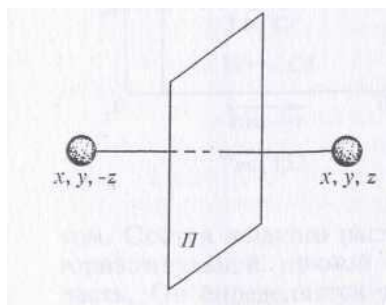
$$\frac{2\sigma}{R} = \rho gh$$

Высо

$$h = \frac{2\sigma}{\rho g r} = \frac{2\sigma}{\rho g r} \cos \theta$$

где ρ — плотность жидкости, r — радиус капилляра, R — радиус кривизны мениска, g — ускорение свободного падения.

Высота поднятия (опускания) жидкости в капилляре обратно пропорциональна его радиусу.

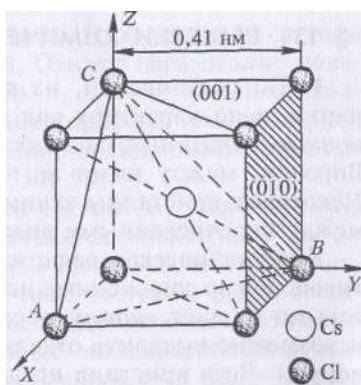


Симметрия тела выражает свойства его совмещаться с самим собой при определенных перемещениях, называемых *преобразованиями* или *операциями симметрии*. Эти перемещения не должны сопровождаться растяжениями, сжатиями, сдвигами и другими деформациями, при которых изменяются расстояния между точками тела. К преобразованиям симметрии

относятся: 1) *параллельный перенос* всех точек тела на определенное расстояние (*трансляция*); 2) *поворот тела* вокруг некоторой оси на определенный угол; 3) *отражение в плоскости*; 4) *инверсия* или *отражение в точке*, а также все комбинации таких преобразований.

Все операции симметрии могут быть сведены к последовательно выполняемым операциям отражения в плоскости. Определенные геометрические точки, прямые и плоскости, симметрично расположенные относительно тела, называются его *элементами симметрии*. К ним относятся *ось симметрии*, *плоскость симметрии*, *зеркально-поворотная ось*, *центр симметрии* и пр. Совокупность всех элементов симметрии тела называется его *группой симметрии*.

Основной особенностью кристаллов, отличающих их от жидкостей и аморфных твердых тел, является *периодичность пространственного расположения атомов, молекул и ионов*, из которых состоит кристалл. Такая периодичность получила название *дальнего порядка*. В дальнейшем ради краткости мы будем говорить, что кристаллы построены из атомов, хотя роль атомов могут выполнять также молекулы или ионы. Совокупность таких периодически расположенных атомов образует периодическую структуру, называемую *кристаллической решеткой*. Точки, в которых расположены сами атомы (точнее, точки, относительно которых они совершают тепловые и нулевые колебания), называются *узлами кристаллической решетки*. Если нас интересует только пространственная периодичность в расположении атомов, то можно отвлечься от их внутренней структуры и рассматривать атомы как геометрические точки. В этом смысле говорят о *пространственной решетке*. Основной особенностью кристаллов, отличающих их от жидкостей и аморфных твердых тел, является *периодичность пространственного расположения атомов, молекул и ионов*, из которых состоит кристалл.



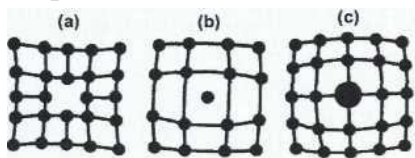
Для определения положения атомов в кристаллической решетке пользуются специальными прямолинейными системами координат, называемыми *кристаллографическими*. За начало координат принимается один из узлов решетки, а за координатные оси — ребра соответствующего параллелепипеда Браве.

Кристаллической, или узловой, плоскостью назы-

ваются всякая плоскость, в которой находится бесконечное множество атомов решетки. Практическое значение имеют только плоскости, усеянные атомами достаточно густо. Именно они служат *естественными гранями кристалла*. кристаллические плоскости имеют большое значение для методов рентгеноструктурного и нейтроноструктурного анализа кристаллов. *Узловой линией* называется прямая, на которой расположено бесконечное множество атомов решетки. Основное значение имеют опять узловые линии, на которых атомы расположены достаточно густо.

Дефектами кристаллической решетки называются отклонения от упорядоченного расположения частиц в узлах решетки. Дефекты делятся на *макроскопические*, возникающие в процессе образования и роста кристаллов (например, трещины, поры, инородные макроскопические включения), и *микроскопические*, обусловленные микроскопическими отклонениями от периодичности.

Микродефекты делятся на *точечные* и *линейные*. Точечные дефекты бывают трех типов:



1) *вакансия* — отсутствие атома в узле кристаллической решетки (a);

2) *междоузельный атом* — атом, внедрившийся в междоузельное пространство (b);

3) *примесный атом* — атом примеси, либо замещающий атом основного вещества в кристаллической решетке (примесь замещения (c)), либо внедрившийся в междоузельное пространство (примесь внедрения). Точечные дефекты нарушают только ближайший порядок в кристаллах.

Дефекты в кристаллах оказывают сильное влияние на их физические свойства (механические, магнитные, электрические и пр.).

Аморфные тела не имеют дальнего порядка в расположении частиц. Для них свойственен ближний порядок, как у жидкостей. Поэтому аморфные тела по своей структуре напоминают жидкости с очень большой вязкостью. В частности, поэтому для аморфных тел не существует определенной температуры плавления. При нагревании таких тел постепенно увеличивается подвижность частиц и мы наблюдаем постепенное увеличение их текучести.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

ТЕМА: Электростатика.

1) Закон кулона. Закон сохранения заряда.

В отличие от гравитационного, в электромагнитное взаимодействие вступают не все тела и частицы. Тем из них, которые участвуют в таких взаимодействиях, приписывается новое свойство - **электрический заряд**. Он может быть положительным или отрицательным, отражая тот факт, что электромагнитное взаимодействие может быть в виде взаимного притяжения разноименных зарядов или отталкивания одноименных зарядов. Итак, *электрический заряд характеризует способность тел вступать в электромагнитные взаимодействия и его величина определяет интенсивность этих взаимодействий.*

В природе в свободном состоянии существуют частицы, имеющие минимальный по модулю заряд, равный $q_{\min} = 1.6 \cdot 10^{19}$ Кл. Поэтому заряды всех тел и частиц, вступающих в электромагнитные взаимодействия, состоят из целого числа таких зарядов

$$Q = \pm Nq_{\min}$$

где N - целое число. В этом заключается **дискретность электрического заряда**. Заряд электрона считается отрицательным, что позволяет достаточно просто установить знаки зарядов других частиц.

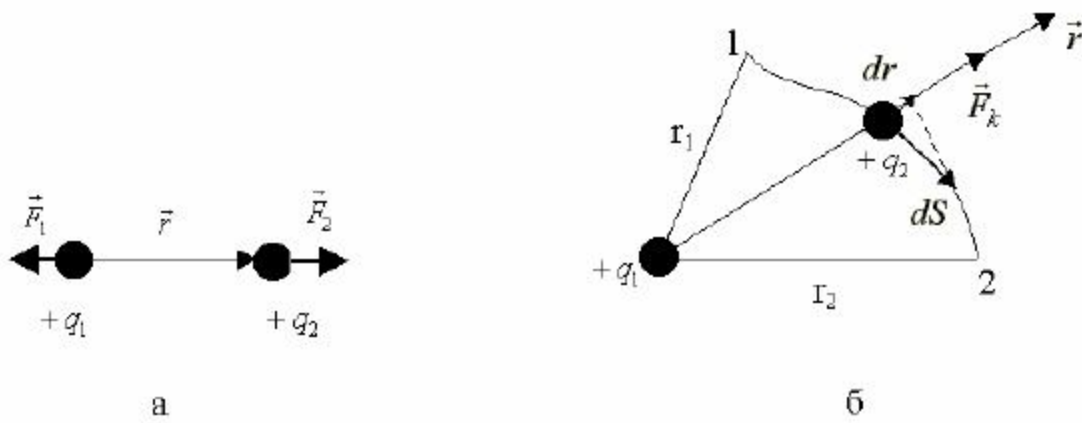
В замкнутых системах выполняется **закон сохранения электрического заряда**, который формулируется следующим образом: *алгебраическая сумма электрических зарядов частиц замкнутой системы остается постоянной*

$$q_1 + q_2 + \dots = \text{const.}$$

Этот закон является важным, так как позволяет анализировать процессы, происходящие в замкнутых системах при изменении в них числа частиц.

Введение электрического заряда позволило сформулировать **закон Кулона**: *силы, с которыми взаимодействуют два неподвижных точечных заряда в вакууме, прямо пропорциональны произведению их зарядов и обратно пропорциональны квадрату расстояния между ними; силы направлены вдоль прямой, соединяющей эти заряды:*

$$\vec{F}_2 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r^3} \vec{r}, \quad F_1 = F_2 = F_K = \frac{|q_1 q_2|}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$$



Известно, что по сравнению с вакуумом взаимодействие между зарядами в среде ослабевает и поэтому в закон Кулона вводят новую характеристику - *относительную диэлектрическую проницаемость ϵ среды*

$$\vec{F}_k = \frac{|q_1||q_2|}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} \cdot$$

Для вакуума $\epsilon=1$, для всех сред $\epsilon>1$, но с достаточной степенью точности при проведении многих расчетов можно принять ϵ для газов, равную единице.

2) Потенциальная энергия взаимодействия точечных зарядов. Потенциальный характер электростатического поля.

Взаимодействие между неподвижными зарядами осуществляется посредством электростатического поля. Покажем, что электростатическое поле является потенциальным полем. Для этого рассчитаем работу кулоновской силы при перемещении точечного положительного заряда q_2 из точки 1 в точку 2 в электростатическом поле, созданном положительным точечным зарядом q_1 .

$$\begin{aligned} A_{12} &= \int_1^2 \vec{F}_k d\vec{s} = \int_1^2 F_k dl \cos\phi = \int_1^2 F_k dr = \\ &= \frac{|q_1||q_2|}{4\pi\epsilon_0} \int_1^2 \frac{dr}{r^2} = \frac{|q_1||q_2|}{4\pi\epsilon_0 r_1} - \frac{|q_1||q_2|}{4\pi\epsilon_0 r_2} = W_{p1} - W_{p2}. \end{aligned}$$

Как видно из формулы, в окончательное выражение входят величины, описывающие только начальное и конечное положение заряда q_2 , т.е. работа сил поля не зависит от пути перехода из точки 1 в точку 2. Это означает, что

кулоновская сила будет консервативной силой, а электрическое поле является потенциальным. В таком поле заряд обладает потенциальной энергией W_p . Она представляет собой потенциальную энергию точечного заряда q_2 в электрическом поле заряда q_1 или потенциальную энергию заряда q_1 в электрическом поле заряда q_2 , или взаимную потенциальную энергию взаимодействующих точечных зарядов.

На основе выражения для работы для W_p можно записать следующее выражение:

$$W_p = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r} + \text{const}.$$

Как видно из этого выражения, W_p определяется с точностью до постоянной величины. Ее выбор осуществляется наиболее удобным для решения задач способом. В данном случае для электрического поля точечного заряда принято выбирать const так, чтобы на бесконечно большом расстоянии между зарядами их взаимная потенциальная энергия обращалась в ноль: $r \rightarrow \infty, W_p = 0$. Следовательно,

$$W_p = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

3) Вектор напряженности E и потенциал ϕ электростатического поля, расчет E и ϕ для электростатического поля точечного заряда.

Из предыдущего рассмотрения следует, что на точечный заряд q , помещенный в электростатическое поле, действует кулоновская сила F_k и заряд q обладает в этом поле потенциальной энергией W_p . Для расчета этих величин вводят две характеристики поля - вектор напряженности E и потенциал ϕ . Зная эти величины в каждой точке поля, можно оценить F_k и W_p по формулам:

$$\vec{F}_k = q\vec{E}, \quad W_p = q\phi.$$

Для произвольного электрического поля можно E и ϕ определить экспериментально. Для этого нужно в каждую точку поля помещать пробный положительный заряд q_0 , найти из опыта F_k и W_p , а затем рассчитать E и ϕ по формулам:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_k}{q_0}, \quad \phi = \frac{W_p}{q_0}.$$

Эти выражения являются формулами - определениями характеристик E и электростатического поля, а именно:

E - векторная физическая величина, являющаяся силовой характеристикой поля и равная отношению кулоновской силы, действующей на пробный положительный заряд, помещенный в данную точку поля, к величине этого заряда;

φ - скалярная физическая величина, являющаяся энергетической характеристикой поля и равная отношению потенциальной энергии пробного заряда, помещенного в данную точку поля, к величине этого заряда.

При известном распределении зарядов, создающих электрическое поле, можно достаточно просто рассчитать E и φ на основе закона Кулона и принципа суперпозиции. В этом параграфе на основе закона Кулона приводится оценка характеристик E и φ поля, созданного точечным зарядом.

Будем считать, что точечный заряд q_1 создает электрическое поле, а точечный заряд q_2 находится в этом поле. Тогда из выше приведенных формул следует

$$\vec{F}_{12} = q_2 \vec{E}_1 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^3} \vec{r} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \vec{E}_{м.з.} = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^3} \vec{r}; \quad E_{м.з.} = \frac{|q|}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2};$$

$$W_p = q_2 \varphi_1 = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r} \Rightarrow \varphi_{м.з.} = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}.$$

Согласно этим формулам нулевой уровень потенциала φ электростатического поля точечного заряда выбирается на бесконечно большом расстоянии от него ($r \rightarrow \infty, \varphi \rightarrow 0$).

Нужно также помнить, что потенциал φ является алгебраической величиной ($\varphi > 0, \varphi < 0$), и чем меньше расстояние до положительного заряда, создающего поле, тем больше φ , (образно говоря, происходит подъем на потенциальную горку) и соответственно, чем ближе к отрицательному заряду, тем меньше φ (происходит спуск в потенциальную яму).

4) Принцип суперпозиции полей.

Примеры расчета E и φ для некоторых частных случаев распределения зарядов.

Для расчета E и φ поля, созданного системой зарядов или макроскопическим заряженным телом, используют принцип суперпозиции, а именно: вектор напряженности E (потенциал φ) электрического поля, созданного несколькими зарядами, равен векторной сумме напряженностей (алгебраической сумме потенциалов) полей, созданных каждым зарядом в отдельности (E_1, E_2, \dots ; $\varphi = \varphi_1, \varphi_2, \dots$)

$$E = E_1 + E_2 + \dots, \quad \varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots$$

$$\begin{aligned} \vec{E}_A &= \int_V d\vec{E}; & d\vec{E} &= \frac{dq}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^3} \vec{r}; \\ \varphi_A &= \int_V d\varphi; & d\varphi &= \frac{dq}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r}. \end{aligned}$$

Принцип суперпозиции позволяет также рассчитывать потенциальную энергию взаимодействия зарядов. Так, для системы точечных зарядов q_i

($i = 1, \dots, N$) можно записать

$$W_p = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N q_i \varphi_i,$$

где φ_i - потенциал поля, созданного всеми зарядами, кроме i -го заряда, в месте расположения i -го заряда; коэффициент $(1/2)$ входит в формулу из-за того, что взаимодействие двух зарядов в сумме учитывается дважды.

1. Поле диполя. Под электрическим диполем понимают электронейтральную систему близкорасположенных двух точечных зарядов, отстоящих друг от друга на расстояние l . Для описания электрического поля, созданного диполем, вводят понятие дипольного момента p : это вектор, направленный по прямой от заряда $(+q)$ к заряду $(-q)$, т.е. по оси диполя, и равный по модулю произведению модуля одного из зарядов на расстояние l между ними

$$p = ql.$$

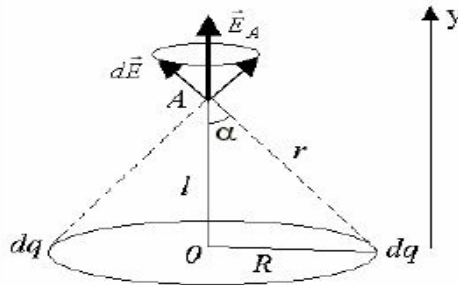
Обычно при описании поля диполя рассматривают точки, находящиеся на расстоянии r , значительно превышающем расстояние l между зарядами диполя ($r \gg l$).

Рассчитаем модуль вектора E и потенциал φ в точках А, В, С, отстоящих от центра диполя (точка О) на расстоянии r ; линии ОА, ОВ и ОС составляют с осью диполя углы $0, 90^\circ$ и произвольный угол α

$$E_c = \frac{P}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^3} \sqrt{1+3\cos^2\alpha}, \quad \varphi_c = \frac{P}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} \cos\alpha.$$

Из формул следует, что модуль вектора напряженности E и потенциал φ поля диполя на расстояниях $r \gg l$ определяются модулем его дипольного момента p , причем они уменьшаются в зависимости от расстояния r быстрее, чем для поля точечного заряда.

2. Электрическое поле на оси равномерно заряженного кольца. Пусть равномерно заряженное по длине кольцо радиусом R несет заряд q . Найдем направление и модуль вектора E , а также потенциал φ поля кольца в точка A , расположенной на оси кольца на расстоянии l от его центра.



Для этого разбиваем кольцо на малые участки - точечные заряды dq , определяем направление векторов dE от всех зарядов dq в точке A и используем для расчета E_A формулу. Из симметрии задачи видно, что все вектора dE образуют конус векторов с углом α при его вершине и суммарный вектор E_A будет направлен вдоль оси, вверх. Тогда

$$\vec{E}_A = \int d\vec{E};$$

$$\text{Оу: } E_A = \int dE \cos\alpha = \int \frac{dq \cos\alpha}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} = \frac{\cos\alpha}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} \int dq = \frac{q \cos\alpha}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} = \frac{ql}{4\pi\epsilon\epsilon_0 (R^2 + l^2)^{3/2}};$$

$$\varphi_A = \int d\varphi = \int \frac{dq}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r} = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \sqrt{R^2 + l^2}}.$$

Итак,

$$E_A = \frac{ql}{4\pi\epsilon\epsilon_0 (R^2 + l^2)^{3/2}}; \quad \varphi_A = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \sqrt{R^2 + l^2}}.$$

$$E_0 = 0, \quad \varphi_0 = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R}.$$

На расстояниях l , значительно превышающих радиус R кольца ($l \gg R$), его можно рассматривать как материальную точку, а электрическое поле кольца как поле точечного заряда.

5) Работа сил электрического поля. Разность потенциалов. Формула связи вектора E и потенциала φ

Запишем формулы для работы сил электростатического поля по перемещению точного заряда из точки 1 в точку 2.

$$A_{12} = q \int_1^2 E dl \cos \alpha, \quad \alpha = (\vec{E}, d\vec{S});$$

$$A_{12} = W_{p1} - W_{p2} = q(\varphi_1 - \varphi_2),$$

$$\vec{E}_A = \int d\vec{E};$$

$$\text{Оу: } E_A = \int dE \cos \alpha = \int \frac{dq \cos \alpha}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} = \frac{\cos \alpha}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} \int dq = \frac{q \cos \alpha}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2} = \frac{ql}{4\pi\epsilon\epsilon_0 (R^2 + l^2)^{3/2}};$$

$$\varphi_A = \int d\varphi = \int \frac{dq}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r} = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \sqrt{R^2 + l^2}}.$$

Итак,

$$E_A = \frac{ql}{4\pi\epsilon\epsilon_0 (R^2 + l^2)^{3/2}}; \quad \varphi_A = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 \sqrt{R^2 + l^2}}.$$

Величину $(\varphi_1 - \varphi_2)$ называют разностью потенциалов. Она характеризует работу сил электростатического поля по перемещению заряда из одной точки поля в другую и равна отношению этой работы к величине переносимого заряда

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q}.$$

Из выражений, приведенных выше, можно получить интегральную формулу связи E и φ , в которую входят две точки поля:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 E dl \cos \alpha.$$

Дифференциальную формулу связи E и φ , справедливую для малой окрестности какой-либо точки поля, можно вывести из выражений для элементарной работы:

$$dA = qEdl \cos \alpha = qE_l dl = -qd\varphi;$$

$$E_l = -\frac{d\varphi}{dl},$$

где E_l - проекция вектора E на направление l в пространстве.

В наиболее общем векторном виде выражение, связывающее E и φ , записывается из полученного в механике соотношения между консервативной силой и потенциальной энергией.

$$\vec{F}_k = q\vec{E} = -gradW_p = -grad(q\vec{E});$$

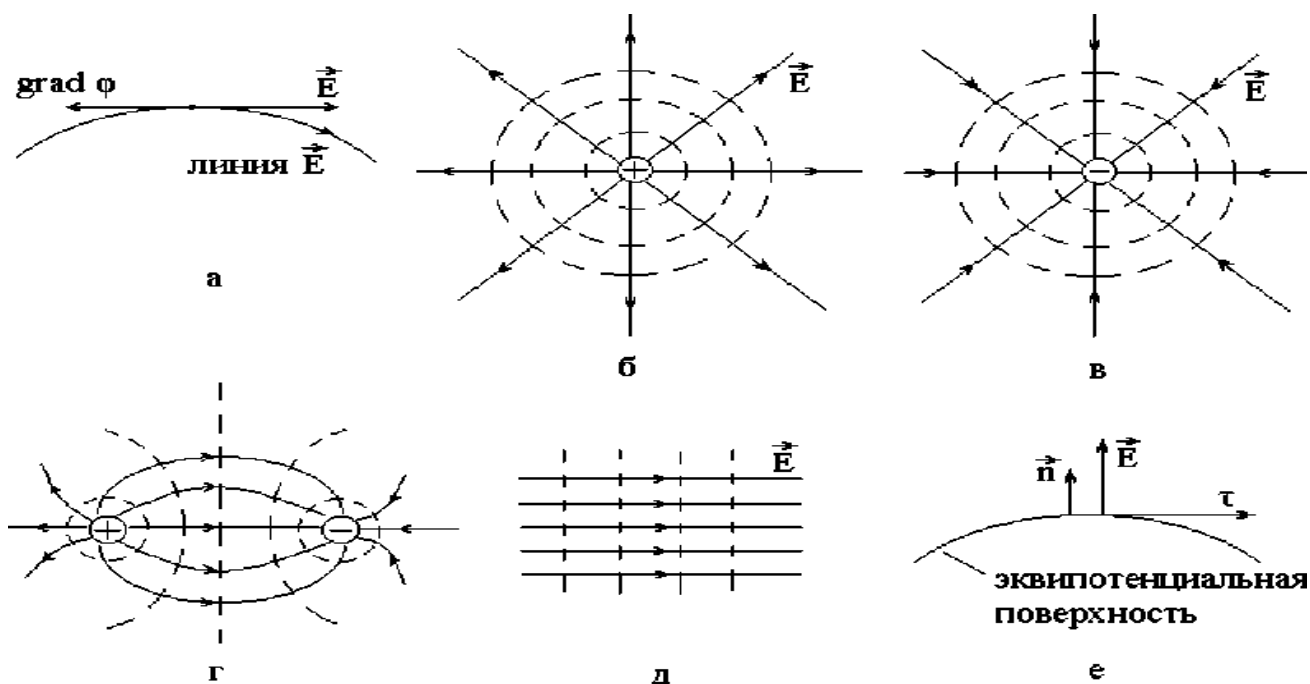
$$\vec{E} = -grad\varphi = -\nabla\varphi, \quad E_l = \frac{d\varphi}{dl}.$$

Итак, в каждой точке поля вектор E равен по модулю и противоположен по направлению вектору градиента потенциала, т.е. вектор E в каждой точке указывает направление наиболее быстрого убывания потенциала.

б) Графическое изображение электростатических полей.

Линии вектора E . Для графического изображения электростатических полей используют линии вектора E - они проводятся так, чтобы в каждой точке линии вектор E был направлен по касательной к ней. Линии E нигде не пересекаются, они начинаются на положительных зарядах, заканчиваются на отрицательных или уходят в бесконечность. Примеры графического изображения полей точечных зарядов приведены на рис.

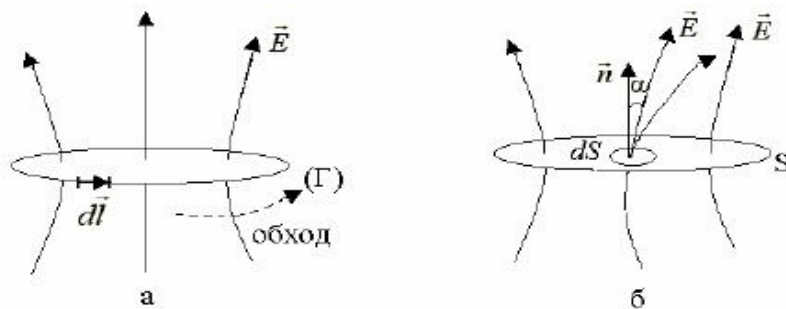
Обычно линии E проводят так, чтобы их густота (количество линий, пронизывающих перпендикулярную к ним плоскую поверхность фиксированной площади) в каждой точке поля определяла числовое значение вектора E . Поэтому по степени близости линий E друг другу можно судить об изменении модуля E и соответственно об изменении модуля кулоновской силы, действующей на заряженную частицу в электрическом поле.



Эквипотенциальные поверхности. Эквипотенциальная поверхность - это поверхность равного потенциала, в каждой точке поверхности потенциал φ остается постоянным. Поэтому элементарная работа по перемещению заряда q по такой поверхности будет равна нулю: $dA = -dq\varphi = 0$. Из этого следует, что вектор \vec{E} в каждой точке поверхности будет перпендикулярен к ней, т.е. будет направлен по вектору нормали. Действительно, если бы это было не так, то тогда существовала бы составляющая вектора \vec{E} (E_τ), направленная по касательной к поверхности, и, следовательно, потенциал в разных точках поверхности был бы разным, что противоречит определению эквипотенциальной поверхности.

7) Поток и циркуляция вектора \vec{E} электростатического поля. Теорема Гаусса для вектора \vec{E} .

Возьмем произвольный контур (Γ) и произвольную поверхность S в неоднородном электростатическом поле



Тогда циркуляцией вектора E по произвольному контуру (Γ) называют интеграл вида:

$$\oint_{(\Gamma)} \vec{E} d\vec{l} = \oint_{(\Gamma)} E dl \cos \alpha, \quad \alpha = (\vec{E}, d\vec{l}),$$

а потоком Φ_E вектора E через произвольную поверхность S следующее выражение:

$$\Phi_E = \int_S d\Phi_E = \int_S \vec{E} d\vec{S} = \int_S E dl \cos \alpha, \quad \alpha = (\vec{E}, \vec{n}).$$

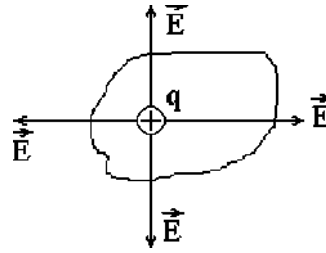
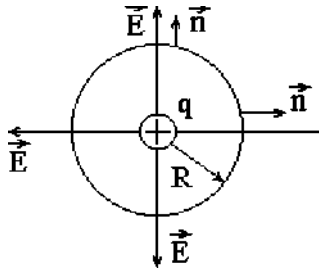
Входящие в эти формулы вектора $d\vec{l}$ и $d\vec{S}$ определяются следующим образом. По модулю они равны элементарной длине dl контура (Γ) и площади dS элементарной площадки поверхности S . Направление вектора $d\vec{l}$ совпадает с направлением обхода контура (Γ), а вектор $d\vec{S}$ направлен по вектору нормали \vec{n} к площадке dS . В случае электростатического поля циркуляция вектора E по произвольному замкнутому контуру (Γ) равна отношению работы $A_{\text{конт}}$ сил поля по перемещению точечного заряда q по этому контуру к величине заряда q и будет равна нулю. Этот факт является признаком потенциальности электростатического поля, т.е. если циркуляция вектора E по произвольному замкнутому контуру (Γ) равна нулю, то это поле является потенциальным. Следовательно, электрические заряды в электростатическом поле обладают потенциальной энергией.

Теорема Гаусса в отсутствие диэлектрика (вакуум) формулируется следующим образом: поток вектора E через произвольную замкнутую поверхность равен алгебраической сумме свободных зарядов q_{Σ} , охватываемых этой поверхностью, и деленной на ϵ_0 :

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{q_{\Sigma}}{\epsilon_0}.$$

Эта теорема является следствием закона Кулона и принципа суперпозиции электростатических полей.

Покажем справедливость теоремы для случая поля точечного заряда. Пусть замкнутая поверхность представляет собой сферу радиусом R , в центре которой находится точечный положительный заряд q .



Тогда
$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} \cos \alpha = \oint_S \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2} dS \cos 0^\circ = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2} \oint_S dS = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^2} 4\pi R^2 = q / \epsilon_0.$$

Полученный результат не изменится, если вместо сферы выбрать произвольную замкнутую поверхность, так как поток вектора \vec{E} численно равен количеству линий \vec{E} , пронизывающих поверхность, а число таких линий \vec{E} в случаях (а) и (б) одинаково.

Теорема Гаусса для вектора \vec{E} в присутствии диэлектрика. В этом случае помимо свободных зарядов q необходимо учитывать и связанные заряды q' , появляющиеся на противоположных гранях диэлектрика при его поляризации во внешнем электрическом (подробнее см. раздел диэлектрики). Поэтому теорема Гаусса для вектора в присутствии диэлектрика запишется таким образом

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{q_{\Sigma} + q'}{\epsilon_0},$$

где в правую часть формулы входит алгебраическая сумма свободных и связанных зарядов, охватываемых поверхностью S .

Из формулы вытекает физический смысл теоремы Гаусса для вектора \vec{E} : источниками электростатического поля вектора \vec{E} являются свободные и связанные заряды.

В частном случае симметричного расположения зарядов и диэлектрика, при наличии осевой или сферической симметрии или в случае изотропного однородного диэлектрика, относительная диэлектрическая проницаемость среды ϵ остается постоянной величиной, не зависящей от рассматриваемой внутри диэлектрика точки, и поэтому можно учесть наличие диэлектрика в формуле не

только введением связанных зарядов q' , но и параметром ϵ , что является более удобным при практических расчетах. Так, можно записать

$$\frac{q_{\Sigma} + q}{\epsilon_0} = \frac{q_{\Sigma}}{\epsilon\epsilon_0}.$$

Тогда теорема Гаусса для вектора E в этом случае запишется так:

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{q_{\Sigma}}{\epsilon\epsilon_0},$$

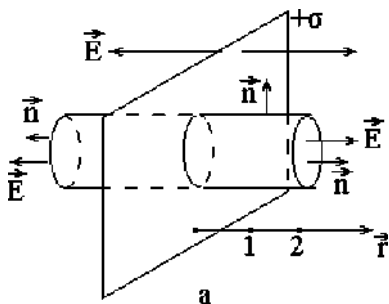
где ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость среды, в которой находится поверхность S .

8) Применение теоремы Гаусса для расчета электростатических полей.

В случае электростатических полей, обладающих той или иной симметрией (осевая и сферическая симметрия, однородное поле), теорема Гаусса позволяет достаточно просто получить выражение для модуля вектора E . При применении теоремы Гаусса выделяют следующие этапы: 1) из симметрии распределения зарядов определяют направление вектора E в каждой точке поля; 2) выбирают произвольную замкнутую поверхность и рассчитывают поток вектора E через нее. Поверхность должна содержать внутри себя заряд (часть заряда), создающий поле, и отражать симметрию поля (цилиндр, сфера); 3) рассчитывают заряд, попадающий внутрь поверхности; 4) применяют теорему Гаусса для определения модуля вектора E . Рассмотрим конкретные примеры применения теоремы Гаусса.

Пример 1. Электрическое поле равномерно заряженной по поверхности бесконечно протяженной плоскости. Поле плоского конденсатора.

1 этап. Введем поверхностную плотность заряда σ . Для этого на заряженной поверхности вблизи какой-либо ее точки выбирают элементарную площадку dS , содержащую заряд dq , и рассчитывают σ по формуле:



$$\sigma = \frac{dq}{dS},$$

2 этап. Выбираем замкнутую поверхность в виде цилиндра, образующая которого перпендикулярна к плоскости (рис.2.10,а). Тогда поток ФЕ через боковую поверхность будет равен нулю ($\alpha = 90$ град, линии E не пересекают боковой поверхности) и поэтому остается поток только через основания площади $S_1 = S_2 = S$

$$\Phi_e = \oint E dS \cos \alpha = \int_{S_1} E dS \cos \alpha + \int_{S_2} E dS \cos \alpha = 2ES$$

3 этап. Рассчитаем заряд плоскости, попадающий внутрь цилиндра

$$q_z = \int_S dq = \int_S \sigma dS = \sigma S$$

4 этап. Применяем теорему Гаусса для расчета модуля вектора E, где учтен случай отрицательно заряженной плоскости.

$$2ES = \frac{\sigma S}{\epsilon \epsilon_0};$$

$$E = \frac{|\sigma|}{2\epsilon \epsilon_0},$$

Разность потенциалов между двумя точками поля, находящимися на расстояниях r_1 и r_2 от плоскости.

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 E dl \cos \alpha = \pm E(r_2 - r_1) = \pm \frac{|\sigma|}{2\epsilon \epsilon_0} (r_2 - r_1),$$

где знак «+» берется для положительно заряженной плоскости.

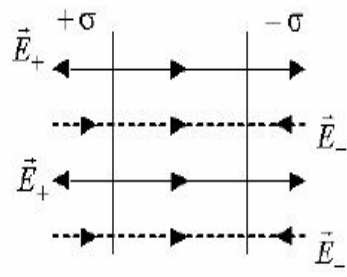
Используя принцип суперпозиции электростатических полей, можно сделать вывод о том, что поле конденсатора существует между его пластинами, а модуль вектора E этого поля равен

$$E = E_+ + E_- = \frac{|\sigma|}{2\epsilon \epsilon_0} = \frac{|q|}{S\epsilon \epsilon_0}$$

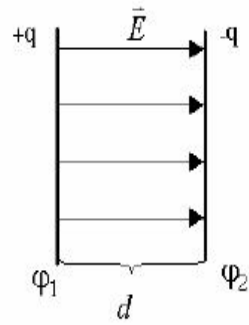
где $|q|$ - модуль заряда одной из пластин конденсатора площади S.

Оценим разность потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ (или напряжение U) между обкладками конденсатора, находящимися на расстоянии d друг от друга. Для этого используем формулы .

$$U = \varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 E dl \cos \alpha = Ed = \frac{|\sigma|}{\epsilon \epsilon_0} d = \frac{q}{S\epsilon \epsilon_0} d .$$



а

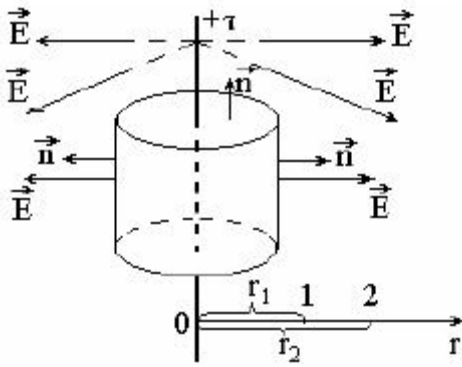


б

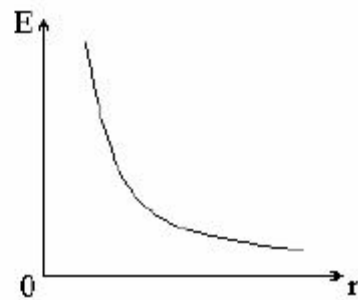
Пример 2. Поле равномерно заряженной бесконечно длинной прямолинейной нити.

$$\tau = \frac{dq}{dl},$$

$$\Phi_E = \oint E dS \cos \alpha = \int_{S_{\text{бок}}} E dS \cos \alpha = ES_{\text{бок}} = E2\pi rH.$$



а



б

ТЕМА: Проводники в электрическом поле.

1) Распределение избыточного заряда на проводниках в состоянии равновесия.

К проводникам относятся вещества, проводящие электрический ток. В них имеются свободные заряды, которые способны перемещаться по проводнику под действием внешнего электрического поля. В металлических проводниках свободными зарядами являются электроны, они образуют газ, заполняющий кристаллическую решетку положительно заряженных ионов.

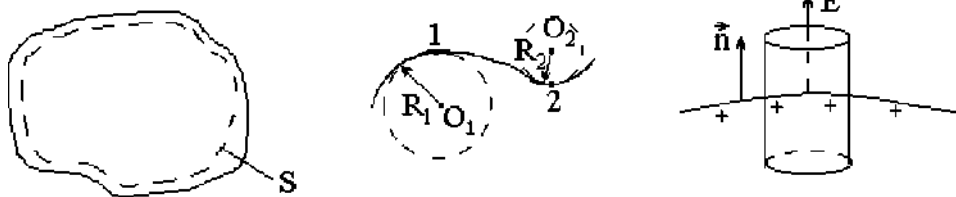
Рассмотрим, что произойдет, если проводнику сообщить избыточный заряд. При этом положительному заряду металлического проводника соответствует недостаток свободных электронов, а отрицательному заряду - их избыток. В условиях равновесия избыточного заряда справедливы следующие утверждения:

1. Электрическое поле внутри проводника отсутствует, а объем проводника и его поверхность являются эквипотенциальными $E_{\text{вн}} = 0$, $\varphi_{\text{вн}} = \text{const}$.

Действительно, если эти равенства не выполняются, то тогда свободные заряды в проводнике будут перемещаться, так как работа сил электрического поля не будет равна нулю. Это противоречит условию равновесия избыточного заряда: в условиях равновесия они должны быть неподвижными.

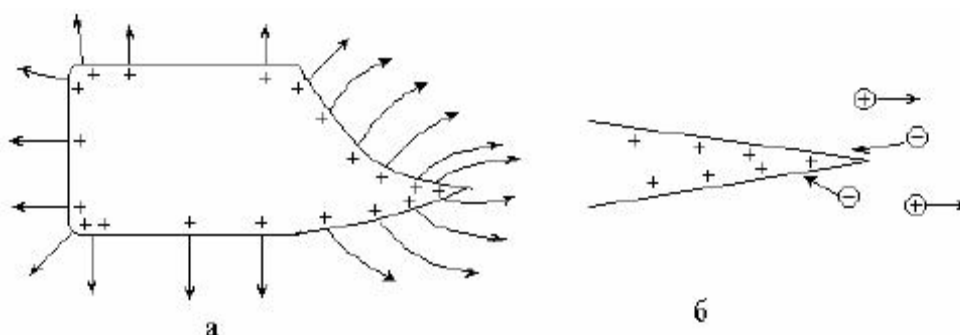
2. Избыточный заряд распределяется только по внешней поверхности проводника, так как из-за кулоновского отталкивания одноименных зарядов они стараются разойтись на максимально возможные расстояния друг от друга, т.е. внутри такой поверхности избыточного заряда нет, так как этот заряд одного знака. Следовательно, он располагается только на внешней поверхности проводника.

3. Распределение избыточного заряда по внешней поверхности проводника является неравномерным: модуль вектора E и поверхностная плотность заряда σ больше в тех точках поверхности проводника, где ее кривизна больше.



Модуль вектора E вблизи какой-либо точки поверхности заряженного проводника пропорционален поверхностной плотности заряда σ в этой точке.

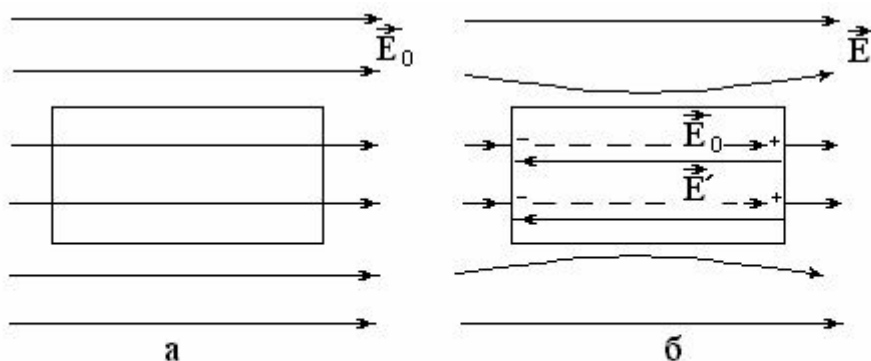
Вблизи острия модуль вектора E может превысить значение, соответствующее ионизации молекул воздуха ($E_{\text{иониз}} \approx 3 \cdot 10^6$ В/м при атмосферном давлении), и тогда возникает явление стекания зарядов, сопровождающееся электрическим ветром. Образующиеся при ионизации молекул электроны движутся к острию и компенсируют на нем часть заряда, равновесие зарядов на проводнике нарушается и к острию подходят заряды с других участков поверхности проводника. Это движение продолжается до тех пор, пока модуль напряженности электрического поля вблизи острия будет превышать $E_{\text{иониз}}$.



В то же время положительные ионы молекул воздуха движутся в противоположном направлении от острия, увлекают за собой нейтральные молекулы, создавая движения воздуха - электрический ветер.

2) Незаряженный проводник во внешнем электрическом поле.

Поместим во внешнее электрическое поле напряженности E незаряженный проводник (рис.а), начальный момент времени $t = 0$).



Под действием сил поля свободные заряды в проводнике приходят в движение и на его противоположных сторонах появляются индуцированные заряды, (такое явление получило название явления электростатической индукции), которые в условиях равновесия создают свое поле E и оно компенсирует внешнее электрическое поле внутри проводника ($E_{\text{внутр}} = E' + E_0 = 0$), и искажают это поле снаружи, вблизи поверхности (рис.б).

Итак, внешнее электрическое поле не проникает внутрь металла. Это позволяет использовать металлическую оболочку, сплошную или в виде сетки, для защиты (экранировки) различных приборов от внешних электрических полей.

3) Электроемкость уединенного проводника. Электроемкость конденсатора.

Рассмотрим уединенный проводник, т.е. в окружающем его пространстве нет других тел - диэлектриков ($\epsilon=1$, вакуум) и проводников. Из формул электростатики следует, что заряд q проводника и его потенциал Φ , который в условиях равновесия будет одинаковым внутри и на поверхности проводника, пропорциональны друг другу, поэтому коэффициент пропорциональности между ними

$$C = \frac{q}{\Phi}$$

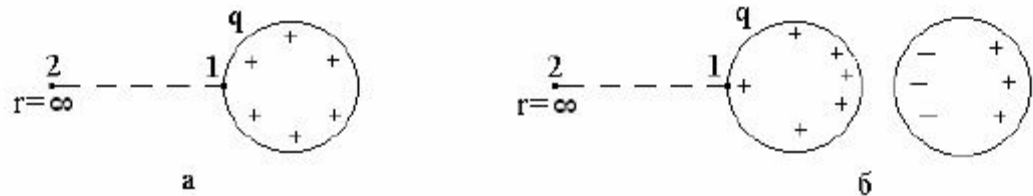
не будет зависеть ни от q , ни от Φ и называется электроемкостью проводника. Электроемкость проводника характеризует его способность накапливать заряды и зависит только от геометрических размеров проводника и диэлектрических свойств окружающей среды, т.е. от ϵ . Действительно, в случае металлической сферы можно записать:

$$C_{c\phi} = \frac{q}{\Phi_{c\phi}} = \frac{q}{\left(\frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R}\right)} = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R.$$

Электроемкость уединенного проводника является достаточно малой величиной. Так, если рассматривать планету Земля как проводящий шар радиуса $R=6400$ км, то тогда ее электроемкость составит всего 711 мкФ.

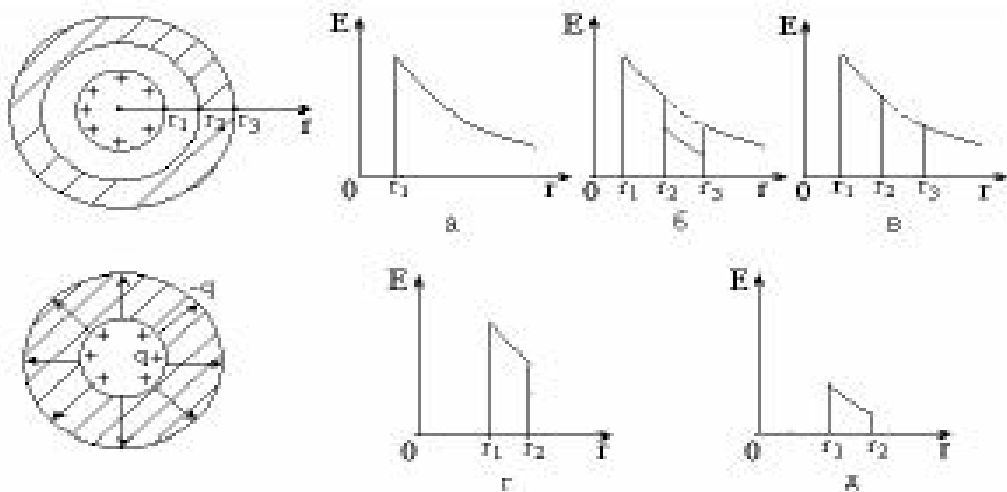
Наличие вблизи уединенного проводника каких-либо тел (проводники или диэлектрики) увеличивают его электроемкость. Если k положительно заряжен-

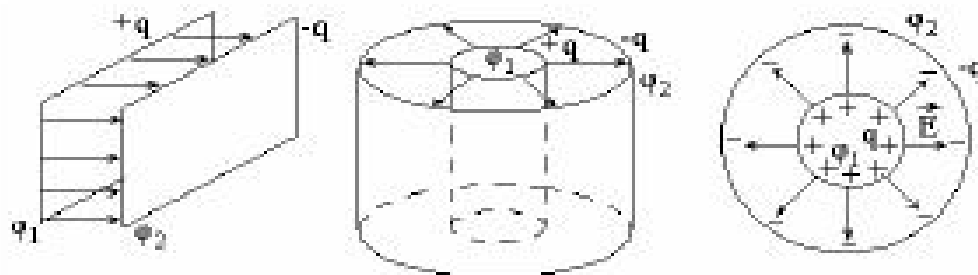
ному проводнику поднести незаряженный металлический проводник, то за счет перераспределения заряда на проводниках электрическое поле в пространстве ослабевает, т.е. на линии 1-2 модуль вектора E будет уменьшаться и поэтому потенциал поверхности заряженного проводника будет также уменьшаться, что приводит к увеличению его емкости.



$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 E dl \cos \alpha$$

Как следует из рисунка, наибольший эффект увеличения емкости проводника достигается для конденсаторов, представляющих собой две металлические пластины, разделенные слоем диэлектрика. На пластины (обкладки) подают заряды, одинаковые по модулю и противоположные по знаку. Форма обкладок конденсатора обеспечивает существование электрического поля только в пространстве между ними. Это позволяет устранить влияние на емкость конденсатора окружающих его тел.





$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U},$$

где q - заряд положительно заряженной пластины конденсатора, $(\varphi_1 - \varphi_2)$ - разность потенциалов между его обкладками.

Емкость конденсатора, как и емкость уединенного проводника, зависит только от его геометрических размеров и диэлектрических свойств среды (ϵ) между его пластинами.

Запишем формулы для емкости конденсаторов различного вида.

Плоский конденсатор. Используя полученную ранее для разности потенциалов

$$C_{\text{пл}} = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{\left(\frac{q}{S\epsilon\epsilon_0}d\right)} = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d},$$

где S - площадь одной пластины конденсатора, d - расстояние между ними, ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость среды между обкладками конденсатора.

Цилиндрический конденсатор. Радиусы обкладок конденсатора обозначим как R_1 и R_2 ($R_2 > R_1$), а длину пластин через H . Электрическое поле такого конденсатора обладает осевой симметрией и согласно теореме Гаусса определяется зарядом внутренней обкладки

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{\frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0} \ln \frac{R_2}{R_1}} = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 H}{\ln \frac{R_2}{R_1}}$$

Сферический конденсатор. Радиусы обкладок обозначим как R_1 и R_2 ($R_2 > R_1$). Электрическое поле конденсатора обладает сферической симметрией и согласно теореме Гаусса определяется зарядом только внутренней сферы. Учи-

тывая формулу для потенциала поля сферы, можно рассчитать разность потенциалов между обкладками конденсатора и его емкость

$$C = \frac{q}{\Phi_1 - \Phi_2} = \frac{q}{\left(\frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R_1} - \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R_2} \right)} = \frac{4\pi\epsilon\epsilon_0 R_2 R_1}{R_2 - R_1}.$$

4) Энергия электростатического поля. Объемная плотность энергии.

Выведем формулу для энергии W заряженного проводника. Для этого рассмотрим работу внешних сил по увеличению заряда проводника от $q_1 = 0$ (энергия проводника $W_1 = 0$, если потенциал $\Phi_1 = 0$) до q_2 (энергия W_2 , потенциал Φ_2), а именно будем малыми порциями dq перемещать заряд из бесконечности ($\Phi_\infty = 0$) на поверхность проводника. При этом работа $A_{\text{вн}}$ внешней силы будет совершаться против кулоновской силы отталкивания одноименных зарядов и поэтому

$$A_{\text{вн}} = W_2 - W_1 = -A_{\text{кул}} = -\int_0^{q_2} dA_{\text{кул}} = -\int_0^{q_2} (\Phi_\infty - \Phi) dq = \int_0^{q_2} \frac{q}{C} dq = \frac{q_2^2}{2C},$$

где учтено, что $W_1 = 0$.

Итак, для энергии заряженного уединенного проводника можно записать:

$$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{C\Phi^2}{2} = \frac{q\Phi}{2}.$$

Аналогично можно получить формулу для энергии W заряженного конденсатора:

$$W = \frac{q^2}{2C} = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2}.$$

Оставаясь в рамках электростатики нельзя однозначно ответить на вопрос о происхождении энергии заряженного проводника (конденсатора) - или это энергия его зарядов или энергия электростатического поля в окружающем проводник пространстве. И только из рассмотрения полной системы уравнения Максвелла был сделан вывод в пользу электростатического поля. Для энергии заряженного плоского конденсатора получим

$$W = \frac{CU^2}{2} = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{2d} (Ed)^2 = \frac{\epsilon\epsilon_0 E^2}{2} V = wV,$$

где $V = Sd$ - объем пространства между обкладками конденсатора, а величина w называется объемной плотностью энергии электростатического поля.

В общем случае для неоднородного поля величина w определяется так:

$$w(x, y, z) = \frac{dW}{dV} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2(x, y, z)}{2},$$

где dW - энергия электростатического поля, заключенная в элементарном объеме dV вблизи точки пространства с координатами (x, y, z) .

Введение w позволяет рассчитывать энергию W поля в любом конечном объеме V пространства

$$W = \int_V w dV = \iiint_V \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2(x, y, z)}{2} dx dy dz.$$

ТЕМА: Диэлектрики.

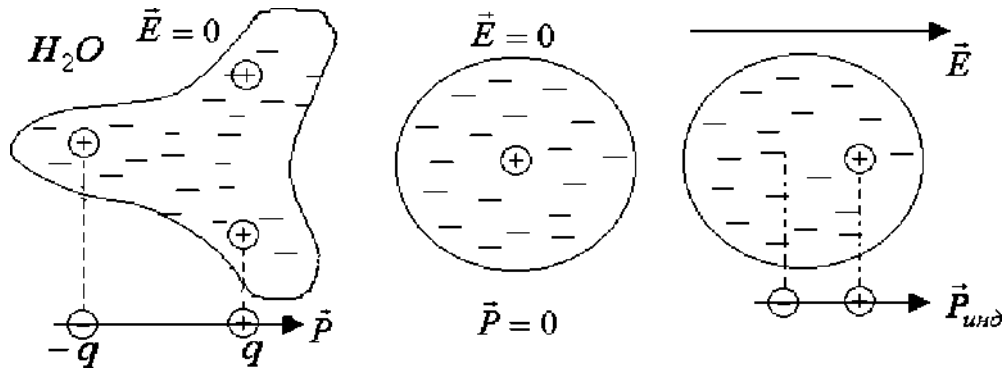
1) Полярные и неполярные молекулы.

К диэлектрикам относят вещества, в которых нет свободных зарядов или их число настолько мало, что они не оказывают существенного влияния на их характеристики. Поведение диэлектрика в электрическом поле определяется поведением его молекул, которые делятся на полярные и неполярные молекулы.

У полярных молекул (молекулы воды H_2O , соляной кислоты, аммиака и т.д.) в отсутствие электрического поля центры тяжести положительных и отрицательных зарядов не совпадают, такие молекулы представляют собой диполи, которые характеризуются дипольным моментом \mathbf{p} .

Для неполярных молекул (молекулы кислорода O_2 , водорода H_2 , гелия He и т.д.) в отсутствие электрического поля центры тяжести положительных и отрицательных зарядов совпадают, поэтому дипольный момент молекулы \mathbf{p} равен нулю.

В электрическом поле неполярная молекула за счет смещения ее положительных и отрицательных зарядов приобретает индуцированный дипольный момент $\mathbf{p}_{\text{инд}}$, пропорциональный вектору \mathbf{E} электрического поля



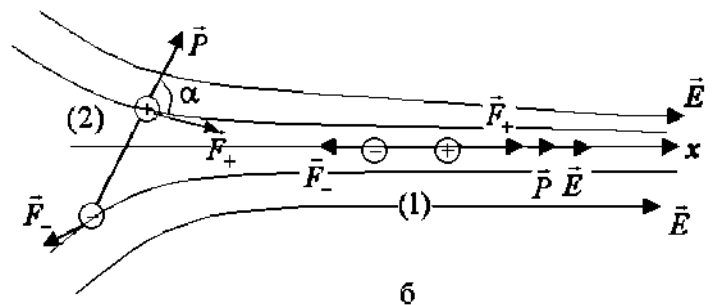
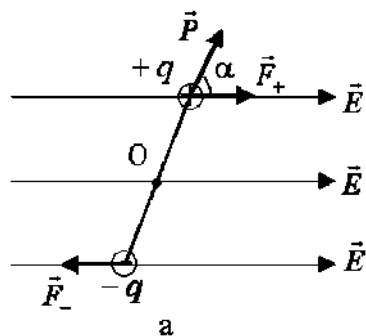
$$\vec{P}_{\text{инд}} = \alpha \cdot \epsilon_0 \cdot \vec{E} \quad ,$$

где α - скалярная величина, называемая поляризуемостью молекулы. Индуцированный дипольный момент $\vec{p}_{\text{инд}}$ появляется в электрическом поле и у полярной молекулы, но он значительно меньше уже имеющегося у нее дипольного момента \vec{p} , поэтому для таких молекул $\vec{p}_{\text{инд}}$ пренебрегают.

Введение понятия дипольного момента молекулы позволяет описать ее поведение и соответственно поведение самого диэлектрика в электрическом поле.

2) Поведение диполя в электрическом поле.

Однородное электрическое поле. На заряды диполя в однородном электрическом поле действует пара одинаковых по модулю сил ($F_+ = F_-$), вызывающих вращение диполя вокруг его центра (точки O) с уменьшением угла между дипольным моментом \vec{p} и вектором \vec{E} (рис.а).



В итоге диполь установится в положении, для которого угол α между векторами \vec{p} и \vec{E} будет равен нулю ($\vec{p} \uparrow \vec{E}$, $\alpha=0$, положение устойчивого равновесия).

Введем потенциальную энергию диполя W в электрическом поле. Для этого рассчитаем работу сил поля по вращению диполя от состояния 1, при котором угол $\alpha = \alpha_1$, до состояния 2 ($\alpha = \alpha_2$).

Используя формулу для работы силы по вращению тела, получим:

$$\begin{aligned} A_{12} &= - \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} M d\alpha = - \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} (F_+ \frac{l}{2} \sin \alpha + F_- \frac{l}{2} \sin \alpha) d\alpha = \\ &= -qE \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin \alpha \cdot d\alpha = (pE \cos \alpha_1) - (pE \cos \alpha_2) = W_1 - W_2. \\ W &= -(\vec{p}\vec{E}) = -pE \cos \alpha, \quad \alpha = (\vec{p}, \vec{E}). \end{aligned}$$

Из этого выражения видно, что в положении устойчивого равновесия потенциальная энергия диполя минимальна и равна $W = -pE$.

Неоднородное электрическое поле.

Пусть электрическое поле нарастает вдоль оси Ox (рис.б). Если угол α между векторами \vec{p} и \vec{E} равен нулю (положение 1), то тогда под действием пары сил диполь будет втягиваться в область более сильного поля ($F_+ > F_-$, рис.2.22,б). При начальном угле $\alpha < 90^\circ$ (положение 2) пара сил, действующих на заряды диполя, будет приводить к его вращению с уменьшением угла α и втягиванию в область более сильного поля, т.е. к поступательному движению вдоль оси Ox . При начальном угле $\alpha > 90^\circ$. Диполь будет сначала поворачиваться с уменьшением угла α и выталкиваться в область более слабого поля. При достижении угла $\alpha = 90^\circ$ он поворачивается с уменьшением угла α и начинает втягиваться в область более сильного поля. Можно записать формулу для проекции на ось Ox силы F_x , вызывающей поступательное движение диполя, используя известное из механики выражение, связывающее консервативную силу и потенциальную энергию

$$F_x = - \frac{dW}{dx} = p \frac{dE}{dx} \cos \alpha.$$

Итак, при любом начальном угле α диполь в неоднородном электрическом поле в итоге втягивается в область более сильного поля.

3) Электрическое поле в присутствии диэлектриков.

1. $\vec{E}', \vec{E}, q', \sigma'$. Диэлектрик, помещенный во внешнее электрическое поле напряженности E_0 поляризуется, т.е. создает свое собственное электрическое поле напряженности E' . При этом напряженность результирующего электрического поля E будет равна

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}' .$$

Поляризация диэлектрика сопровождается появлением на его противоположных гранях некомпенсированных связанных зарядов q' , которые и создают поле E' . Поверхностная плотность заряда σ характеризует распределение заряда q' по поверхности диэлектрика.

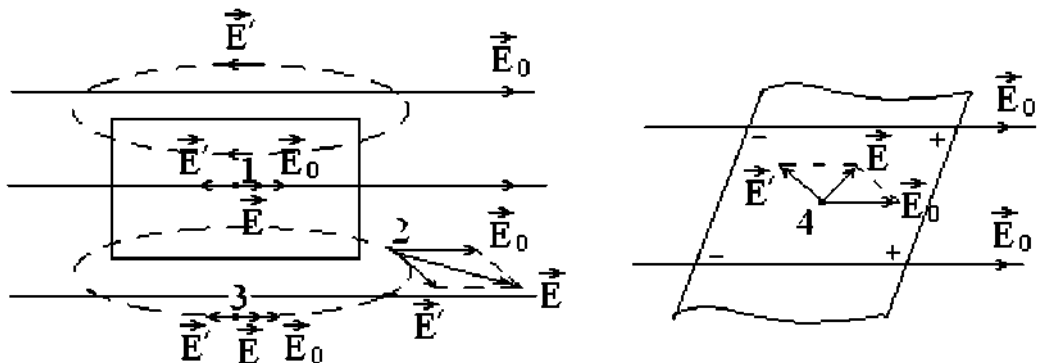
2. Диэлектрическая проницаемость ϵ среды. Она показывает, во сколько раз модуль напряженности E_0 поля в вакууме больше модуля напряженности E поля внутри диэлектрика

$$\epsilon = \frac{E_0}{E} .$$

Эта формула справедлива для однородного изотропного диэлектрика, заполняющего все пространство или представляющего собой цилиндрические, сферические и прямоугольные пластины, находящиеся соответственно в электрическом поле осевой или сферической симметрии или в однородном поле. Тогда между векторами E_0 и E' угол будет равен 180° и можно записать:

$$E = E_0 - E' ; \epsilon = \frac{E_0}{E_0 - E'} .$$

В зависимости от формы диэлектрика и его расположения во внешнем электрическом поле угол между векторами E_0 и E' может изменяться



3. Вектор поляризации (поляризованность) \vec{P} . Он равен векторной сумме дипольных моментов молекул единицы объема диэлектрика.

$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{p}_i}{V}.$$

Вектор поляризации \vec{P} описывает способность диэлектрика создавать свое собственное поле \vec{E}' . Можно показать, что

$$\vec{P} = -\varepsilon_0 \vec{E}'.$$

Из опыта известна формула

$$\vec{P} = \chi \varepsilon_0 \vec{E},$$

где величина χ называется диэлектрической восприимчивостью диэлектрика.

4. Вектор электрического смещения (электрической индукции) \vec{D} . Он вводится по формуле

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}.$$

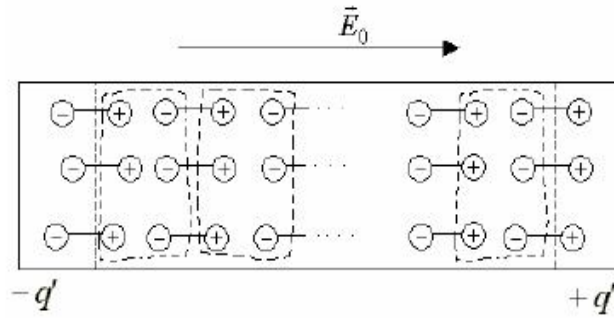
$$\vec{D} = \varepsilon_0 \cdot \vec{E} + \chi \varepsilon_0 \vec{E} = (1 + \chi) \varepsilon_0 \vec{E} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}, \quad \varepsilon = 1 + \chi$$

$$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}$$

4) Неполарный диэлектрик во внешнем электрическом поле.

Во внешнем электрическом поле происходит смещение зарядов неполярных молекул, они становятся диполями и приобретают индуцированные дипольные моменты. На рис. показано расположение молекул-диполей на поверхности и внутри диэлектрика, представляющего собой прямоугольную пластину длиной l и площадью поперечного сечения S , во внешнем однородном электрическом поле напряженности E_0 .

Из рисунка видно, что внутри происходит компенсация зарядов соседних молекул (суммарный заряд, заключенный в областях, ограниченных замкнутыми пунктирными линиями, равен нулю). Некомпенсированными остаются заряды молекул на противоположных гранях диэлектрика, они называются связанными зарядами, поскольку эти заряды находятся внутри молекул и не могут свободно перемещаться по всему объему диэлектрика.



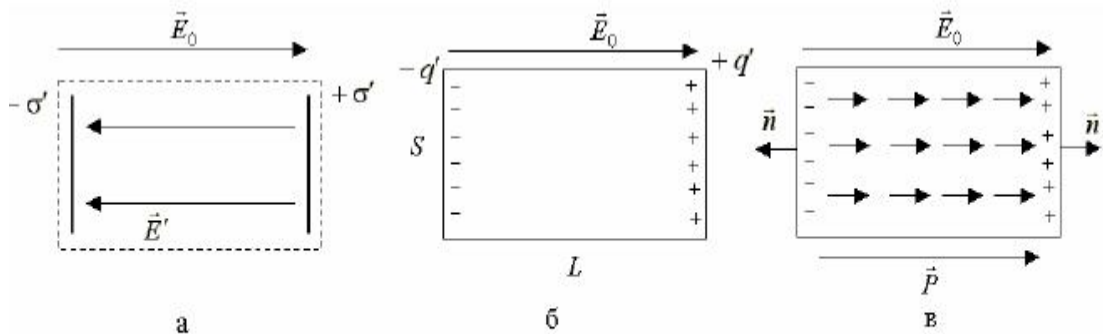
1. Электрическое поле E' диэлектрика эквивалентно электрическому полю плоского конденсатора с поверхностной плотностью заряда его пластин, равной σ' . Следовательно,

$$P = \frac{|\sum \vec{p}_i|}{V} = p_{\text{большой мол.}} = \frac{q' \cdot L}{SL} = \sigma', \quad P_n = \sigma',$$

2. Диэлектрик подобен большой полярной молекуле. Поэтому поведение диэлектрика во внешнем электрическом поле подобно поведению диполя. Рассчитаем модуль вектора поляризации:

$$E' = \frac{\sigma'}{\epsilon_0},$$

где P_n - проекция вектора \mathbf{P} на направления нормали к поверхности диэлектрика ($P_n = P$ для правой грани).



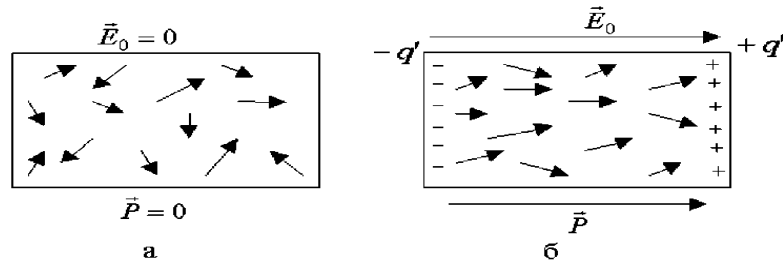
3. Все индуцированные дипольные моменты молекул направлены вдоль линии

E_0 , также направлен и вектор поляризации \mathbf{P} .

$$P = \sigma', \quad E' = \frac{\sigma'}{\epsilon_0}, \quad \vec{P} \uparrow \uparrow \vec{E}_0, \quad \vec{E}' \uparrow \downarrow \vec{E}_0 \Rightarrow \vec{P} = -\epsilon_0 \vec{E}'.$$

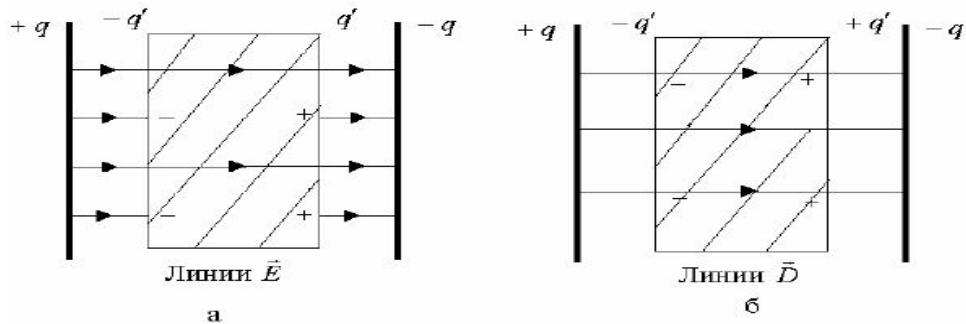
5) Полярный диэлектрик во внешнем электрическом поле.

В отсутствие электрического поля за счет теплового движения молекул их дипольные моменты \mathbf{p} разбросаны хаотично по все направлениям, следовательно, диэлектрик не поляризован и вектор поляризации \mathbf{P} равен нулю:



Во внешнем электрическом поле его силы стремятся установить дипольные моменты молекул вдоль линий E_0 , чему препятствует тепловое движение молекул. За счет действия этих двух факторов наблюдается преимущественная ориентация дипольных моментов молекул вдоль поля. Поэтому за счет поворота молекул диэлектрик поляризуется ($P > 0$), поляризация сопровождается появлением связанных зарядов q' на противоположных гранях диэлектрика. Все это свидетельствует о том, что поведение такого диэлектрика во внешнем электрическом поле подобно поведению диэлектрика из неполярных молекул, а следовательно, и поведению диполя.

Тот факт, что источником поля вектора \mathbf{D} являются только свободные заряды приводит к тому, что линии \mathbf{D} на границе диэлектрика, где появляются связанные заряды q' , не прерываются. Это является удобным для графического изображения электрического поля в присутствии диэлектрика. На рисунке в качестве примера приведено графическое изображение с помощью линий \mathbf{E} и \mathbf{D} электрического поля плоского конденсатора, внутри которого находится прямоугольная пластина из диэлектрика с относительной диэлектрической проницаемостью ϵ .



б) Поведение линий векторов \vec{E} и \vec{D} на границе раздела двух диэлектриков.

Источником линий D являются только свободные заряды и поэтому линии D на границе раздела двух диэлектриков, где находятся связанные заряды, не прерываются. Это означает, что нормальные, перпендикулярные к поверхности раздела составляющие вектора D не прерываются (рис.а):

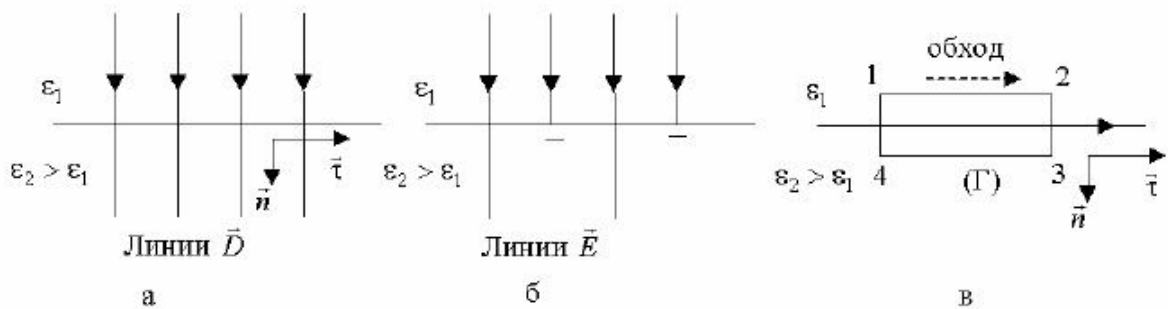
$$D_{1n} = D_{2n} ,$$

$$\varepsilon_1 E_{1n} = \varepsilon_2 E_{2n},$$

т.е. составляющие вектора E терпят разрыв.

Чтобы выяснить поведение тангенциальных (параллельных поверхности раздела) составляющих векторов E и D , запишем циркуляцию вектора E по прямоугольному контуру (Γ)

$$\oint_{\Gamma} \vec{E} d\vec{l} = E_{1\tau} l_{12} + \int_2^3 \vec{E} d\vec{l} - E_{2\tau} l_{34} + \int_4^1 \vec{E} d\vec{l} = 0 .$$

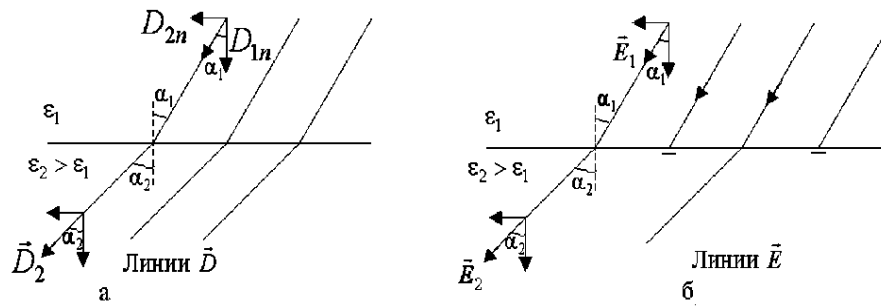


Если взять предел, при котором стороны контура $l_{23} = l_{41}$ стремятся к нулю, то получим $E_{1\tau} = E_{2\tau}$ и соответственно:

$$\frac{D_{\tau 1}}{\varepsilon_1} = \frac{D_{\tau 2}}{\varepsilon_2} .$$

Это означает, что тангенциальные составляющие вектора \vec{E} на границе раздела непрерывны, а для вектора D они терпят разрыв.

Эти условия позволяют выяснить поведение линий E и D при падении их под произвольным углом α к поверхности раздела двух диэлектриков.



Углы падения α_1 и преломления α_2 для линий E и D можно определить из следующих уравнений:

$$\text{Линии } \vec{D}: \frac{\operatorname{tg}\alpha_2}{\operatorname{tg}\alpha_1} = \frac{D_{2\tau}}{D_{2n}} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}; \quad \text{Линии } \vec{E}: \frac{\operatorname{tg}\alpha_2}{\operatorname{tg}\alpha_1} = \frac{D_{2n}}{D_{2\tau}} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}.$$

Видно, что при одинаковых углах падения α_1 угол преломления α_2 линий \vec{E} и \vec{D} будет одинаковым; для изображенного на рис.2.29 случая $\varepsilon_2 > \varepsilon_1$ и поэтому $\alpha_2 > \alpha_1$.

7) Пьезоэлектрики. Сегнетоэлектрики.

Диэлектрики в науке и технике используются, прежде всего, как электроизоляционные материалы. Однако имеются и другие разнообразные применения диэлектриков из-за наличия у отдельных их групп необычных свойств.

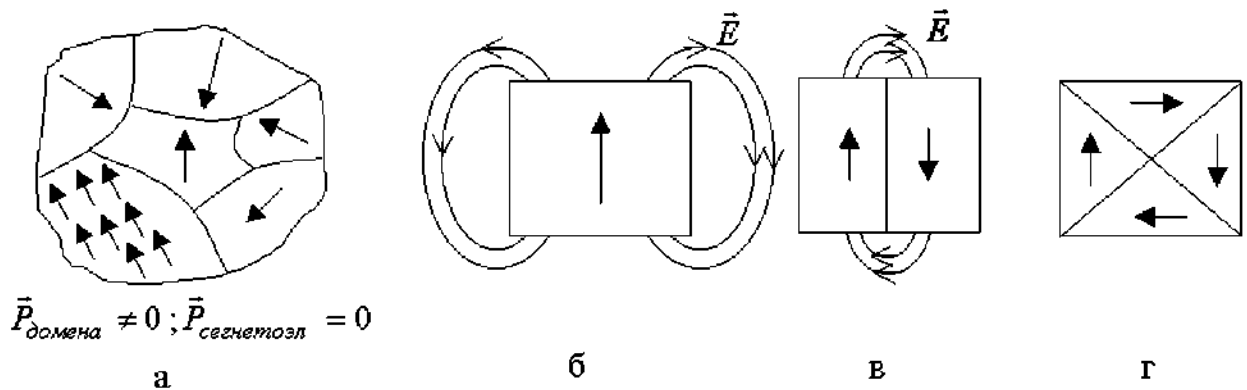
Нужно отличать пьезоэффект от явления электрострикции, который наблюдается у всех диэлектриков и состоит в изменении размеров диэлектрика под действием внешнего электрического поля. Но в случае электрострикции смена направления внешнего электрического поля не приводит к смене знака его деформации.

Сегнетоэлектрики. К ним относят пьезоэлектрики, обладающие самопроизвольной (спонтанной) поляризацией в отсутствие внешнего электрического поля. Она может существенно изменяться под влиянием различных внешних факторов. Отметим ряд необычных свойств сегнетоэлектриков.

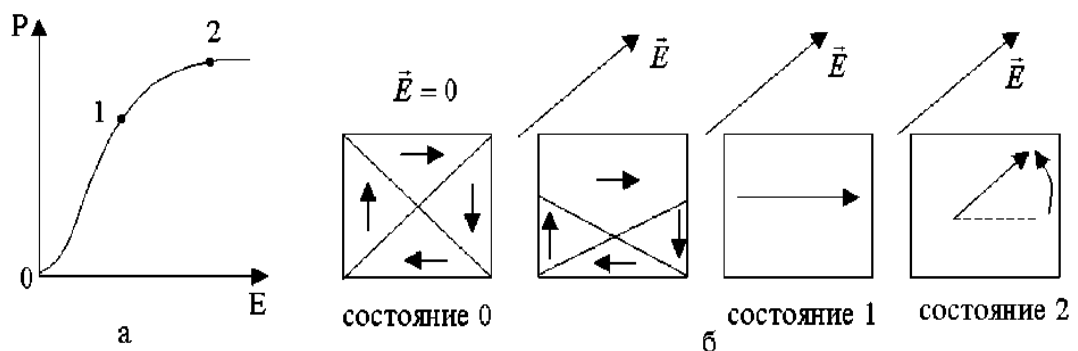
1. Относительная диэлектрическая проницаемость ε может достигать нескольких тысяч единиц, тогда как у обычных диэлектриков она достигает несколько сотен единиц.

2. Между молекулами устанавливается взаимодействие, которое приводит к параллельной ориентации дипольных моментов молекул в макроскопических областях, называемых доменами. Направление дипольных моментов молекул в

разных доменах разное, поэтому в отсутствие электрического поля вектор поляризации сегнетоэлектрика равен нулю.

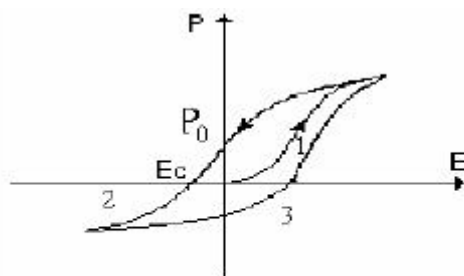


Поляризация сегнетоэлектрика сопровождается сначала увеличением объемов доменов с выгодной ориентацией дипольных моментов молекул относительно электрического поля (для них угол между векторами \vec{p}_m и \vec{E} наименьший, участок 0-1).



В итоге образец становится одно доменным (состояние 1). Затем происходит поворот вектора \vec{P} и он устанавливается вдоль вектора \vec{E} электрического поля (процесс вращения) и образец становится поляризованным до насыщения.

4. Для сегнетоэлектриков наблюдается явление *гистерезиса* - явление неоднозначной зависимости вектора поляризации \vec{P} от электрического поля \vec{E} . Если после достижения состояния насыщения уменьшать модуль вектора \vec{E} , то изменение модуля \vec{P} будет отставать от изменения модуля \vec{E}



Значение E_c , при котором поляризация сегнетоэлектрика исчезает, называют коэрцитивной силой. Если внешнее поле противоположного направления продолжать увеличивать, то через некоторое время наступает насыщение (кривая 2). При циклическом изменении внешнего поля получается замкнутая линия, называемая петлей гистерезиса.

5. Для сегнетоэлектрика существует температура, выше которой он теряет свои необычные свойства и превращается в обычный диэлектрик. Она получила название температуры Кюри T_C . Для сегнетовой соли, которая дала название этой группе диэлектриков, существует две температуры Кюри $T_{C1} = -15^\circ\text{C}$ и $T_{C2} = 22,5^\circ\text{C}$, выше и ниже этих температур он превращается в обычный диэлектрик.

Высокие значения относительной диэлектрической проницаемости позволяют использовать сегнетоэлектрики в качестве материалов для конденсаторов высокой удельной емкости. Нелинейная зависимость модуля вектора поляризации P от напряженности E внешнего поля находит применение при изготовлении нелинейных конденсаторов - варикондах, которые используются в системах автоматического контроля и управления.

ТЕМА: Постоянный электрический ток.

1) Сила тока, плотность тока.

Под электрическим током понимают упорядоченное движение заряженных частиц, причем за направление тока принимают направление движения положительных зарядов.

Электрический ток существует при наличии свободных зарядов и электрического поля. Такие условия можно создать в вакууме и в различных средах, таких как твердые тела (металлы, полупроводники), жидкости (жидкие метал-

лы, электролиты) и в газах. Обычно рассматривают протекание тока в металлических проводниках, где свободными носителями заряда являются электроны.

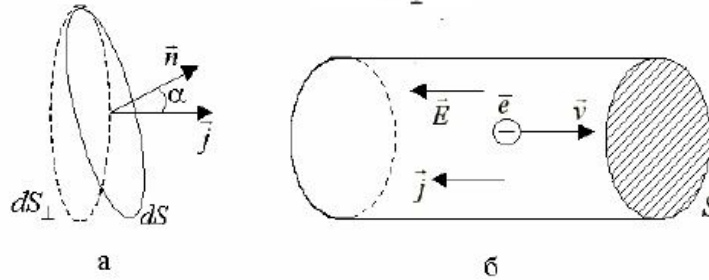
Протекание тока по проводнику характеризует сила тока I , определяемая по формуле

$$I = \frac{dq}{dt},$$

где dq - заряд, проходящий через поперечное сечение проводника за время dt . Сила тока является алгебраической величиной, она может быть как больше, так и меньше нуля.

Распределение тока по сечению проводника характеризует вектор плотности тока \vec{j} , направление, которого в каждой точке проводника совпадает с направлением тока, т.е. с направлением скорости \vec{V} упорядоченных положительных зарядов ($\vec{j} \uparrow \uparrow \vec{V}$). Модуль вектора \vec{j} равен

$$\vec{j} = \frac{dI}{dS_{\perp}},$$



где dI - сила тока, протекающего в данной точке внутри проводника через элементарную площадку dS , расположенную перпендикулярно к направлению тока (рис.а).

Введение вектора плотности тока \vec{j} позволяет найти силу тока, протекающего через любую поверхность S

$$\vec{I} = \int_S \vec{j} d\vec{S} = \int_S j dS \cos \alpha.$$

2) Закон Ома для однородного участка цепи. Закон Джоуля – Ленца.

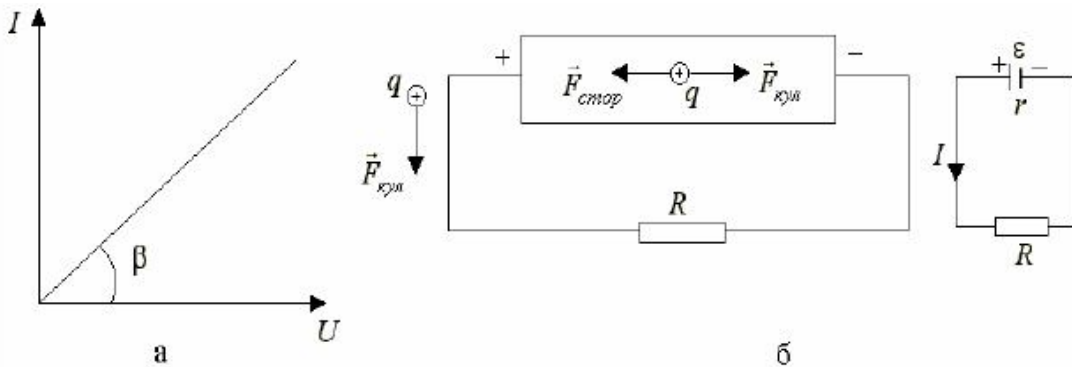
Однородным участком электрической цепи называют участок, на котором направленное движение зарядов происходит под действием только кулоновских сил. Для него Г. Ом в 1826 году экспериментально установил следующий за-

кон: сила тока I , текущего по однородному участку цепи, прямо пропорциональна напряжению U , приложенному к нему, и обратно пропорциональна сопротивлению R этого участка цепи

$$I = \frac{U}{R} .$$

Сопротивление R однородного участка цепи не зависит ни от U , ни от I , но определяется геометрическими размерами проводника, его материалом и температурой.

Вольт-амперной характеристикой (ВАХ) однородного участка цепи называют график зависимости силы тока I от приложенного к нему напряжения (рис.а); он представляет собой прямую линию, угол наклона которой определяет электрическое сопротивление участка $R = \text{ctg}\beta$ (рис.а).



На практике обычно используют проводники цилиндрического вида длиной l и площадью поперечного сечения S . Это позволяет ввести новую характеристику - удельное сопротивление ρ проводника по следующей формуле

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad \rho = \frac{RS}{l} .$$

Удельное сопротивление ρ проводника зависит только от его материала и температуры. Оно численно равно сопротивлению R проводника при $l = 1$ м и $S = 1$ м². Для чистых металлических проводников в области комнатных температур удельное сопротивление практически линейно возрастает с повышением температуры, а именно:

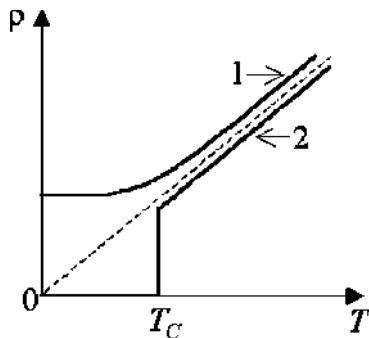
$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t),$$

где ρ_0 - удельное сопротивление проводника при температуре $t = 0$ С; t - температура проводника по шкале Цельсия.

Зависимость сопротивления R металлического проводника также соответствует формуле (3.9), так как размеры проводника (l, S) обычно изменяются с температурой значительно слабее, чем удельное сопротивление ρ проводника:

$$R = R_0(1 + \alpha t) .$$

Для чистых металлов ТКС α является положительной величиной, при-



мерно равной $1/273 \text{ K}^{-1}$. При низких температурах, когда колебания положительных ионов кристаллической решетки не оказывают существенного влияния на движение свободных электронов, удельное сопротивление ρ не изменяется с температурой, оставаясь постоянной величиной (график 1).

Для многих металлов при определенной температуре T_c (ее называют температурой перехода в сверхпроводящее состояние, $T_c \leq 20 \text{ K}$) сопротивление R металла обращается в ноль ($R=0$), металл при $T < T_c$ будет находиться в сверхпроводящем состоянии (график 2).

Вычислим количество теплоты Q , выделяемого в проводнике при протекании по нему электрического тока. Работа сил электрического поля по перемещению заряда в проводнике целиком расходуется на выделение теплоты. В этом случае количество теплоты dQ , выделяемое за малый промежуток времени dt , можно рассчитать таким образом:

$$dQ = dA = dqU = IUdt = \frac{U^2}{R} dt = I^2 R dt .$$

Для конечного промежутка времени в случае переменного тока получим

$$Q = \int_0^t dQ = \int_0^t I^2 R dt ,$$

а для постоянного тока ($I = \text{const}$)

$$Q = I^2 R t .$$

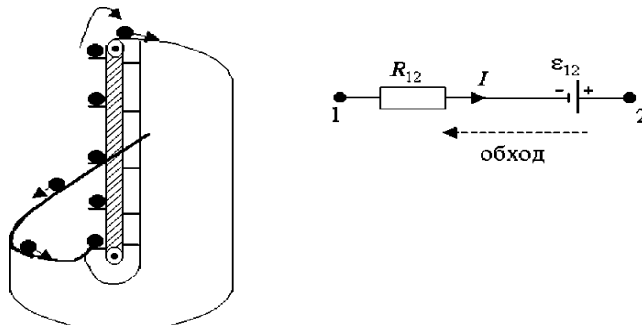
Формула получила название закона Джоуля – Ленца: количество теплоты, выделяемое в проводнике при протекании по нему электрического тока равно произведению квадрата силы тока на сопротивление проводника и на время протекания по нему тока.

3) Электродвижущая сила источника тока. Напряжение. Закон Ома для неоднородного участка цепи

Возьмем замкнутую электрическую цепь, содержащую источник тока, и рассмотрим, как протекает по ней постоянный ток, т.е. как происходит движение положительного заряда (+q) по этой цепи.

Во внешней части цепи сопротивлением R под действием кулоновских сил заряд (+q) перемещается от точек с большим потенциалом к точкам с меньшим потенциалом (заряд скатывается с потенциальной горки). Для дальнейшего движения заряда (внутренняя часть цепи, источник тока) необходимо переместить заряд к точкам с большим потенциалом (поднять заряд на потенциальную горку). Кулоновские силы сделать это не в состоянии, так как они только соединяют разноименные заряды.

Поэтому в источнике тока на заряды, кроме кулоновских сил, должны действовать так же и сторонние силы - это силы не кулоновского происхождения, они совершают работу по разделению разноименных зарядов и переводят заряд (+q) от отрицательного полюса источника тока к его положительному полюсу. Таким образом, завершается полный цикл движения заряда по замкнутой цепи, в ней за счет работы сторонних сил наблюдается постоянное движение заряда, протекает постоянный ток.



Источник тока можно охарактеризовать сопротивлением r (сопротивление внутренней части цепи) и электродвижущей силой (ЭДС) ε- она определяет работу сторонних сил по перемещению точечного положительного заряда в один кулон от отрицательного полюса к его положительному полюсу

$$\varepsilon = \frac{A_{стор}}{q_+} .$$

Природа сторонних сил может быть любой, от них требуется лишь способность разделять разноименные заряды. Это могут быть силы трения, силы

химических реакций, протекающих в гальванических элементах, силы магнитного поля, силы вихревого электрического поля и т.д.

Участок цепи, на котором одновременно действуют и сторонние и кулоновские силы, называют неоднородным участком цепи. Работу кулоновских сил по перемещению электрического заряда на этом участке характеризует разность потенциалов, а сторонних сил - действующая на этом участке цепи ЭДС $\varepsilon_{1,2}$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{\text{кул}1,2}}{q}, \quad \varepsilon_{1,2} = \frac{A_{\text{стор}1,2}}{q}.$$

Для неоднородного участка цепи вводится новая величина, называемая напряжением $U_{1,2}$, она характеризует общую работу сторонних и кулоновских сил на неоднородном участке цепи

$$U_{1,2} = \frac{A_{\text{кул}1,2} + A_{\text{стор}}}{q} = (\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon_{1,2}.$$

На однородном участке цепи ($\varepsilon_{1,2}=0$) напряжение равно разности потенциалов $U_{1,2} = \varphi_1 - \varphi_2$.

По аналогии с электростатическим полем для описания силового действия на помещенные в поле сторонних сил заряды вводят его силовую характеристику, напряженность $E_{\text{ст}}$ поля сторонних сил:

$$\vec{F}_{\text{см}} = q\vec{E}_{\text{см}}, \quad \vec{E}_{\text{см}} = \frac{\vec{F}_{\text{см}}}{q}.$$

Тогда формулы можно переписать следующим образом:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{\text{кул}1,2}}{q} = \frac{1}{q} \int_1^2 \vec{F}_k d\vec{l}, \quad \varepsilon_{1,2} = \frac{A_{\text{см}1,2}}{q} = \frac{1}{q} \int_1^2 \vec{F}_{\text{см}} d\vec{l},$$

$$U_{1,2} = \int_1^2 (\vec{E} + \vec{E}_{\text{см}}) d\vec{l}.$$

Для ЭДС ε , действующей в замкнутой цепи (начальная и конечная точки 1 и 2 совпадают) из данного выражения получим

$$\varepsilon = \oint_r \vec{E}_{\text{см}} d\vec{l},$$

т.е. ЭДС ε равна циркуляции вектора напряженности Ест сторонних сил по произвольному замкнутому контуру (Γ). Это свидетельствует о том, что поле сторонних сил в отличие от электростатического поля не является потенциальным.

Покажем, что и для неоднородного участка цепи также выполняется закон Ома. Для этого используем закон сохранения энергии, а именно: количество теплоты $dQ_{1,2}$, выделяемое на неоднородном участке цепи за малый промежуток времени dt , равно суммарной работе сторонних и кулоновских сил по перемещению зарядов по этому участку цепи

$$dQ_{1,2} = dA_{кул1,2} + dA_{см1,2} \Rightarrow \\ \Rightarrow I^2 R_{1,2} dt = dq(\varphi_1 - \varphi_2) + dq\varepsilon_{12} = dqU_{12} = IU_{12} dt \Rightarrow U_{12} = IR_{1,2}.$$

Эта формула представляет собой закон Ома для неоднородного участка цепи. Для участка цепи она примет вид:

$$-IR_{1,2} = (\varphi_{нач} - \varphi_{кон}) - \varepsilon_{1,2},$$

где начальной точкой участка считается точка, с которой начинается обход участка цепи.

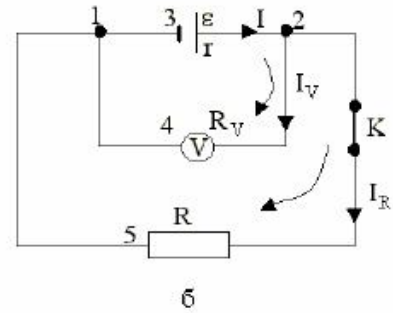
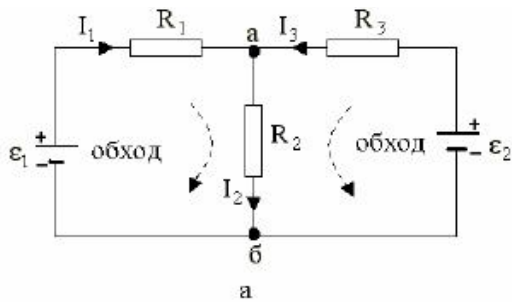
4) Правила Кирхгофа.

Эти правила были сформулированы Кирхгофом в 1847 году, они используются для расчета разветвленных цепей постоянного и квазистационарного тока - цепей, содержащих несколько замкнутых контуров.

Второе правило Кирхгофа формулируется следующим образом: алгебраическая сумма падений напряжения на разных участках замкнутой цепи равна алгебраической сумме э.д.с, действующих в этой цепи.

$$\pm \sum_{i=1}^N I_i R_i = \pm \sum_{i=1}^N \varepsilon_i .$$

Число независимых уравнений (ни одно из них не является следствием других), которые можно записать по второму правилу, равно числу замкнутых контуров (цепей), которые нельзя получить наложением одного на другой. Так, для схемы, приведенной на рис.а, число независимых уравнений равно двум, один из трех контуров получается наложением двух других.



Для приведенной на рис.а схемы по второму правилу Кирхгофа можно записать два уравнения

$$\begin{cases} I_1 R_1 + I_2 R_2 = \varepsilon_{1,2} \\ I_2 R_2 + I_3 R_3 = \varepsilon_2 \end{cases}$$

Для формулировки первого правила Кирхгофа введем понятие узла электрической цепи. Узел электрической цепи - это точка цепи, в которой сходятся три или более проводников. Тогда из закона сохранения электрического заряда (он не может накапливаться в какой-либо точке цепи) следует первое правило Кирхгофа

$$\sum I_i = 0,$$

согласно которому алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю.

Принято брать силу тока I со знаком «+», если ток входит в узел и со знаком минус “-“, если ток выходит из узла. Число независимых уравнений, которые можно записать по этому правилу, равно числу узлов разветвленной цепи минус один.

Система уравнений позволяет провести расчет электрических цепей при различных исходных данных. Для разветвленной цепи, содержащей большое число контуров, для решения системы уравнений необходимо использовать известный в алгебре метод определителей.

ТЕМА: Магнитное поле.

1) Характеристики магнитного поля.

В работах Ампера (1820 г.) был экспериментально установлен закон, позволяющий оценить силу взаимодействия двух токов, текущих в малых отрезках проводников. После введения понятия магнитного поля, посредством которого происходит передача взаимодействия токов, законом Ампера стали назы-

вать формулу, определяющую силу, с которой магнитное поле действует на элементарный (малых размеров) проводник с током.

В работах Био и Савара (1820 г.) был установлен закон, определяющий силовую характеристику (вектор магнитной индукции \mathbf{B}) магнитного поля, создаваемого электрическим током. В общем виде этот закон был сформулирован Лапласом и получил название закон Био - Савара - Лапласа.

Отметим, что термин «магнитное поле» был введен Эрстедом (1820 г.) в связи с тем, что возбуждаемое электрическим током поле оказывало ориентирующее действие на магнитную стрелку.

2) Закон Био-Савара-Лапласа. Закон Ампера.

Элемент тока $I dl$ - это вектор, направленный в каждой точке проводника с током I параллельно вектору j плотности тока и равный по модулю произведению силы тока I на элемент длины dl проводника.

Найдем индукцию $d\mathbf{B}$ магнитного поля, создаваемого элементом тока. При пропускании по проводнику тока I в элементе длины dl проводника объемом Sdl (S - площадь поперечного сечения проводника,) движутся N свободных зарядов со скоростью v направленного движения, каждый из них создает магнитное поле с индукцией \mathbf{B}_s . Учитывая малые размеры элемента длины dl проводника для $d\vec{B}$, можно записать

$$d\vec{B} = N\vec{B}_s = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{[Nq\langle\vec{v}\rangle \times \vec{r}]}{r^3}.$$

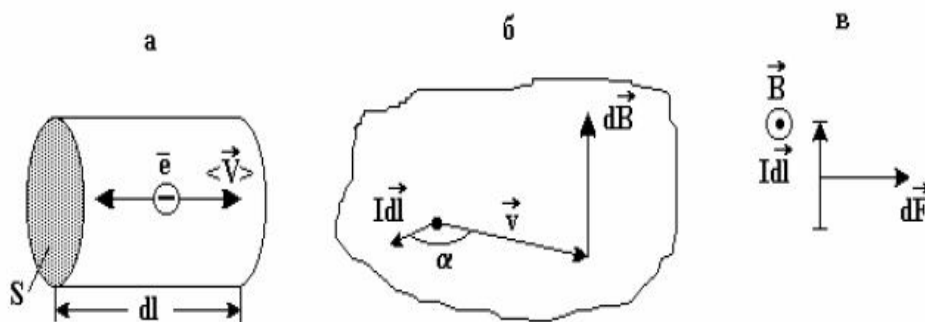
Используя формулы для плотности тока j и силы тока $I = jS$, получим:

что позвол $Nq\langle\vec{v}\rangle = n \cdot Vq\langle\vec{v}\rangle = qn\langle\vec{v}\rangle Sdl = \vec{j}Sdl = I\vec{dl}$,

$$d\vec{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi r^3} [I\vec{dl} \times \vec{r}], \quad dB = \frac{\mu\mu_0 Idl \sin \alpha}{4\pi r^2}, \quad \alpha = \left(\vec{dl}, \vec{r} \right),$$

где \vec{r} - вектор, проведенный от элемента тока к рассматриваемой точке пространства.

Формула получила название закона Био - Савара - Лапласа, который определяет индукцию магнитного поля, создаваемого элементом тока.



Если поместить элемент тока в магнитное поле, то силу $d\vec{F}$, действующую на него со стороны магнитного поля, можно найти как сумму сил Лоренца \vec{F}_L действующих на заряды, движущиеся в элементе тока: $d\vec{F} = N\vec{F}_L$. Используя методику вывода закона БСЛ, получим

$$d\vec{F} = [I d\vec{l} \times \vec{B}] \quad dF = I dl \sin \alpha, \quad \alpha = \left(d\vec{l}, \vec{B} \right).$$

Формула представляет собой закон Ампера, определяющий силу, которая действует на элемент тока со стороны магнитного поля. Направление силы $d\vec{F}$ удобно определять по правилу левой руки.

3) Применение закона БСЛ к расчету магнитных полей различных проводников с током.

Для расчета индукции магнитного поля проводника с током нужно разбить его на отдельные элементы тока (представить его как систему (набор) элементов тока), по закону БСЛ найти вектора индукции магнитного поля от каждого элемента тока в рассматриваемой точке и затем суммировать их по правилу сложения векторов:

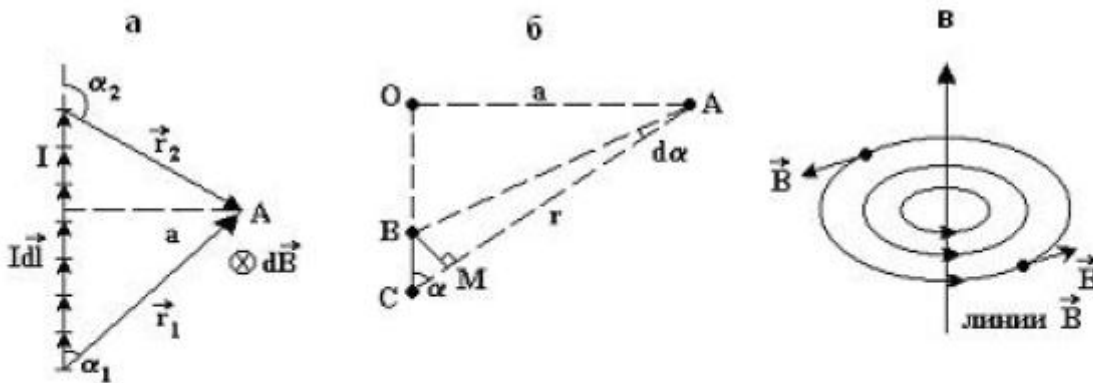
$$\vec{B} = \int d\vec{B} = \int \frac{\mu\mu_0 [I d\vec{l} \times \vec{r}]}{4\pi r^3}.$$

Прежде чем перейти к конкретным примерам расчета магнитных полей, отметим, что для графического изображения магнитных полей используются линии вектора магнитной индукции (линии \vec{B}), которые проводятся так, чтобы в каждой точке линии вектор \vec{B} был направлен по касательной к ним.

Из опыта известно, что в природе не существует магнитных зарядов, поэтому линии \vec{B} являются замкнутыми. В ряде случаев направление вектора \vec{B} в

данной точке поля удобно определять, предварительно проведя через данную точку линию вектора \mathbf{B} .

Пример 1. Магнитное поле прямолинейного проводника конечной длины с током I . Рассчитаем индукцию магнитного поля прямолинейного проводника конечной длины с током I в точке A .



Из рис.а видно, что все вектора $d\mathbf{B}$ направлены перпендикулярно плоскости чертежа от нас, следовательно, также направлен и вектор \mathbf{B} суммарного поля. Тогда формула для модуля вектора \mathbf{B} запишется так:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi} \int \frac{dl \sin \alpha}{r^2}.$$

Для того, чтобы взять такой интеграл, необходимо рассмотреть чертеж, приведенный на рис.б, где приведен произвольный элемент длины dl проводника. Из рис.б следует

$$\Delta OAC \sim \Delta BCM : \frac{OA}{AC} = \frac{BM}{BC}; \frac{a}{r} = \frac{rd\alpha}{dl}; \frac{dl}{r^2} = \frac{d\alpha}{a}.$$

Подставляя полученное соотношение в интеграл, получим

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi a} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin \alpha d\alpha = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi a} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2).$$

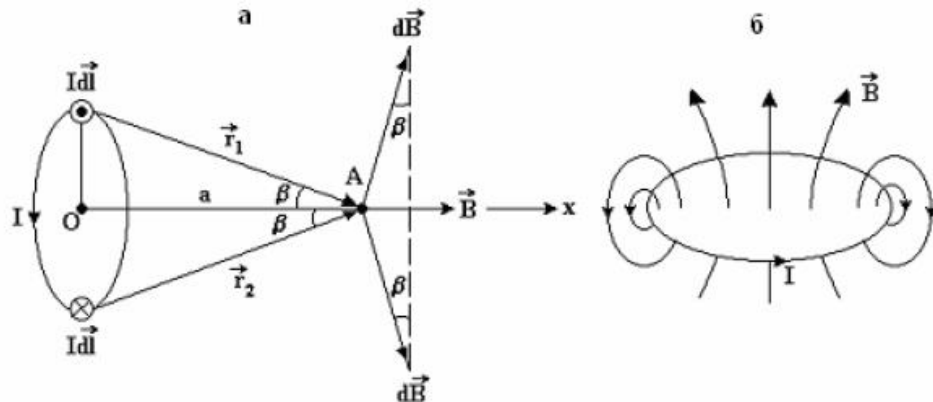
Направление вектора \mathbf{B} можно определить, предварительно проведя силовые линии прямого проводника с током - это окружности, охватывающие проводник и лежащие в плоскости, перпендикулярной к нему; направление линий \mathbf{B} связано правилом правого буравчика с направлением тока в проводнике. Тогда вектор \mathbf{B} в каждой точке линии будет направлен по касательной к ней.

В частном случае бесконечно длинного проводника с током получим:

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi a} = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r}.$$

Пример 2. Магнитное поле на оси кольцевого тока

Рассчитаем индукцию магнитного поля в точке А, находящейся на оси кольцевого тока I радиуса R на расстоянии a от его центра.



На рисунке указаны вектора $d\mathbf{B}$, созданные верхним и нижним элементами тока в точке А. Они образуют угол β с вертикальным направлением. Вектора $d\mathbf{B}$, созданные всеми элементами тока, образуют конус векторов $d\mathbf{B}$, и из соображений симметрии следует, что суммарный вектор \mathbf{B} в точке А будет направлен по оси кольца. Проектируя уравнение на ось Ох, получим

$$B = \int dB \sin \beta = \int \frac{\mu\mu_0 I dl \sin 90^\circ}{4\pi r^2} = \frac{\mu\mu_0 I \sin \beta 2\pi R}{4\pi r^2} = \frac{\mu\mu_0 I R^2}{2(R^2 + a^2)^{3/2}}.$$

Для центра кольцевого тока (точка О) $a=0$, и поэтому

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2R}.$$

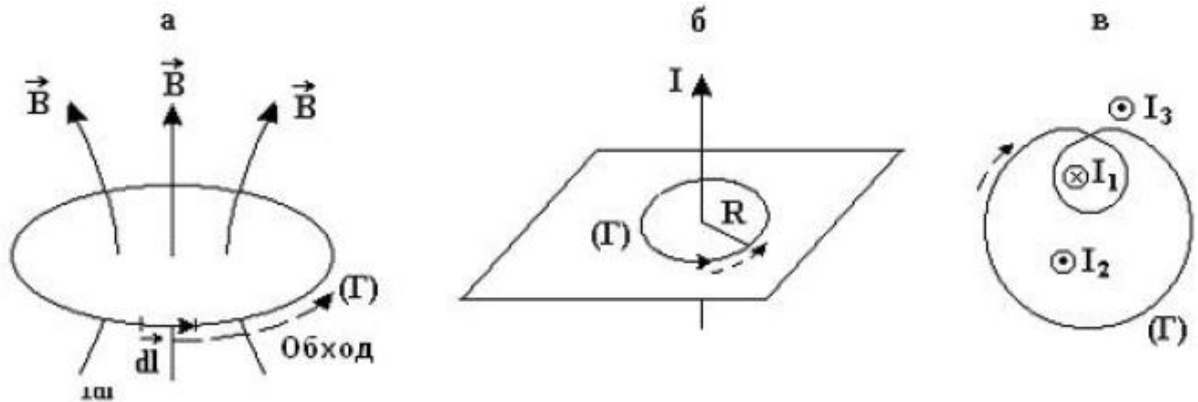
4) Теорема о циркуляции вектора магнитной индукции \mathbf{B} .

Возьмем в магнитном поле воображаемую замкнутую линию - контур Г. Введем вектор $d\mathbf{l}$ - по модулю он равен элементу длины dl контура, в каждой точке контура он направлен по касательной в направлении обхода контура.

Интеграл вида

$$\oint_{(\Gamma)} \vec{B} d\vec{l} = \oint_{(\Gamma)} B dl \cos \alpha, \quad \alpha = \left(\vec{B}, d\vec{l} \right),$$

получил название циркуляции вектора \mathbf{B} по замкнутому контуру (Γ) .



Можно доказать теорему о циркуляции вектора \mathbf{B} , которая для случая вакуума читается следующим образом: циркуляция вектора \mathbf{B} по произвольному замкнутому контуру (Γ) равна алгебраической сумме токов, охватываемых этим контуром, умноженной на μ_0 :

$$\oint_{(\Gamma)} B dl \cos \alpha = \mu_0 \sum_i I_i.$$

Знак силы тока I в формуле выбирается следующим образом: если направление тока связано с направлением обхода контура правилом правого буравчика, то выбирается знак плюс; если нет - знак минус.

Проверим теорему на примере прямолинейного проводника бесконечной длины с током I . Возьмем контур (Γ) , совпадающий с линией \mathbf{B} радиуса R , а направление обхода контура выберем против часовой стрелки, т.е. по направлению линии \mathbf{B} . Тогда:

$$\oint_{(\varepsilon)} B dl \cos \alpha = \oint_{(\varepsilon)} \frac{\mu \mu_0 I}{2\pi R} dl \cdot \cos 0 = \frac{\mu \mu_0 I}{2\pi R} \oint_{(\varepsilon)} dl = \frac{\mu \mu_0 I}{2\pi R} \cdot 2\pi R = \mu \mu_0 I,$$

что и требовалось показать.

В присутствии вещества в правую часть теоремы о циркуляции вектора \mathbf{B} необходимо ввести микротоки $I_{\text{микро}}$, охватываемые контуром (Γ),

$$\oint_{(\Gamma)} B dl \cos \alpha = \mu_0 \left(\sum_i I_i + I_{\text{микро}} \right).$$

Под микротоками или молекулярными токами понимают токи, вызванные движением электронов в атомах, ионах и молекулах. Эти токи создают магнитное поле вещества, помещенного во внешнее магнитное поле.

Физический смысл теоремы о циркуляции вектора \mathbf{B} , а именно источником вектора \mathbf{B} являются токи проводимости и микротоки.

В случае изотропного вещества формулу можно упростить, учитывая магнитное поле вещества введением магнитной проницаемости μ :

$$\oint_{(\Gamma)} B dl \cos \alpha = \mu \mu_0 \sum_i I_i.$$

В таком виде теорема о циркуляции вектора \mathbf{B} используется при решении многих задач магнитостатики как в вакууме, так и в присутствии вещества.

5) Применение теоремы о циркуляции вектора \mathbf{B} к расчету магнитных полей проводников с током

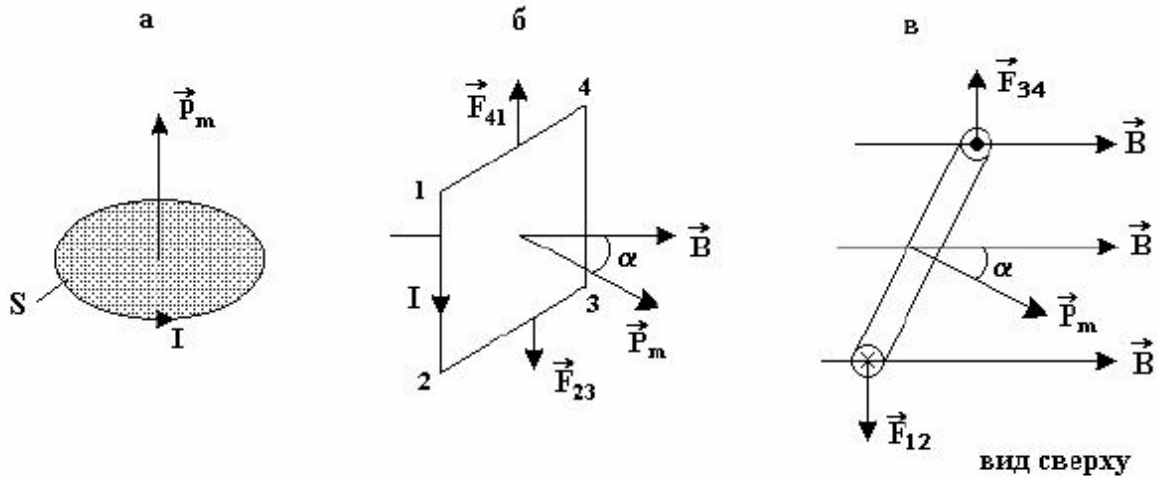
Теорема о циркуляции вектора \mathbf{B} позволяет рассчитать модуль вектора \mathbf{B} в случаях определенной симметрии магнитного поля, т.е. когда известно направление вектора \mathbf{B} в каждой точке поля. Отметим следующие этапы применения теоремы: 1) из симметрии задачи сначала определяем направление вектора \mathbf{B} в любой точке поля. Если этого сделать нельзя, то для расчета поля (направления и модуля вектора \mathbf{B}) необходимо использовать закон БСЛ и принцип суперпозиции для магнитных полей; 2) выбираем контур (Γ) и рассчитываем циркуляцию вектора \mathbf{B} согласно ее определению; 3) рассчитываем сумму токов, охватываемых контуром; 4) применяем теорему для расчета модуля вектора \mathbf{B} .

6) Магнитный поток. Теорема Гаусса для вектора \mathbf{B} . Работа по перемещению проводника и контура с током в магнитном поле.

Элементарным магнитным потоком $d\Phi$ через элементарную площадку dS называется скалярная физическая величина, равная

$$d\Phi = \vec{B}d\vec{S} = BdS \cos \alpha, \quad \alpha = (\vec{B}, \vec{n}),$$

где α - угол между вектором \mathbf{B} и вектором \vec{n} нормали к площадке dS



Магнитный поток Φ через поверхность S равен сумме элементарных магнитных потоков $d\Phi$:

$$\Phi = \int d\Phi = \int_S BdS \cos \alpha .$$

Как уже отмечалось, в природе не существует магнитных зарядов, т.е. линии \mathbf{B} являются замкнутыми, и поэтому теорема Гаусса в интегральной и дифференциальной формах для вектора магнитной индукции \mathbf{B} запишется следующим образом:

$$\oint_S \vec{B}d\vec{S} \cos \alpha = 0, \quad \text{div} \vec{B} = \nabla \vec{B} = 0 .$$

Физический смысл теоремы Гаусса для вектора \mathbf{B} заключается в следующем: в природе нет магнитных зарядов, и поэтому линии \mathbf{B} являются замкнутыми.

8) Движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях.

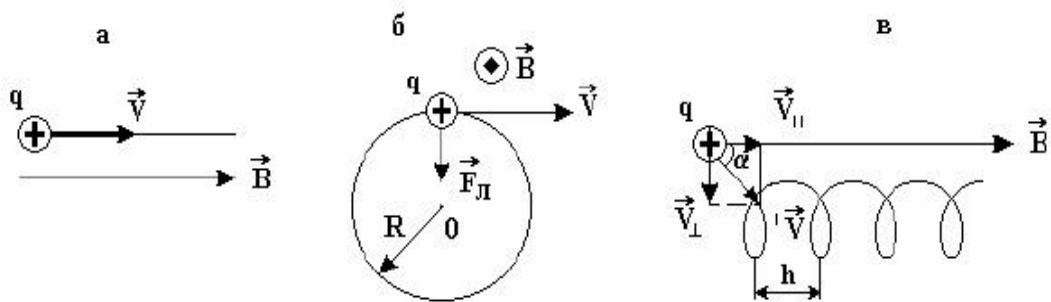
Со стороны магнитного поля на движущуюся в нем заряженную частицу действует сила Лоренца:

$$\vec{F}_\pi = q [\vec{v} \times \vec{B}], \quad F_\pi = |q|vB \sin \alpha, \quad \alpha = (\vec{v}, \vec{B}).$$

Мощность силы Лоренца в произвольный момент времени равна нулю, так как угол между \vec{F}_L и \vec{v} равен 90° ($N = F_L v \cos 90^\circ = 0$), и поэтому сила Лоренца работы не совершает. Это означает, что в магнитном поле модуль скорости частицы и ее кинетическая энергия остаются постоянными, изменяется только направление скорости движения частицы.

Рассмотрим частные случаи движения частицы в однородном магнитном поле:

а) $\alpha = 0^\circ$. В этом случае ($F_L = 0$), частица движется прямолинейно вдоль линий вектора \mathbf{B} (рис.а);



б) $\alpha = 90^\circ$. Частица движется в магнитном поле перпендикулярно линиям вектора \mathbf{B} . Траектория движения частицы - окружность радиуса R (рис.б). Используя второй закон Ньютона, для радиуса R и периода T обращения частицы можно получить

$$F_x = ma : |q|vB = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow$$

$$R = \frac{mv}{|q|B}, \quad T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{|q|B};$$

в) α - произвольный угол. Траекторию движения частицы - винтовую линию (рис.в) можно представить как сумму двух видов движения - прямолинейного вдоль линий \mathbf{B} ($\alpha = 0^\circ$) и движения по окружности в плоскости, перпендикулярной вектору \vec{B} ($\alpha = 90^\circ$).

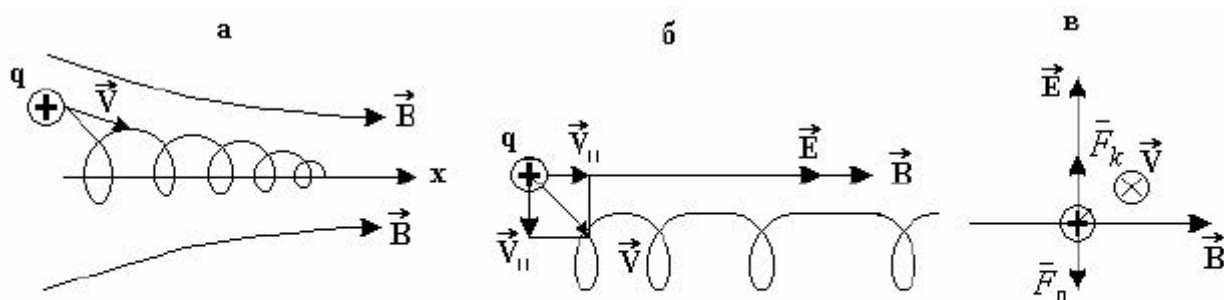
Для параметров винтовой линии - радиуса R окружности, периода T обращения и шага h винтовой линии (рис.в) можно записать

$$R = \frac{mv_{\perp}}{|q|B}; \quad T = \frac{2\pi m}{|q|B}, \quad h = v_{11} \cdot T, \quad v_{11} = v \cos \alpha, \quad v_{\perp} = v \sin \alpha.$$

В неоднородном магнитном поле частица в общем случае будет двигаться по винтовой линии, радиус и шаг которой будут изменяться, т.е. по спирали.

В совмещенных в пространстве электрическом и магнитном полях на частицу, кроме силы Лоренца, будет также действовать кулоновская сила

$$\vec{F} = \vec{F}_k + \vec{F}_l = q\vec{E} + q[\vec{v} \times \vec{B}].$$



В случае скрещенных под прямым углом однородных электрическом и магнитном полях (рис.в), прямолинейное движение частицы возможно, когда вектор \vec{v} будет направлен от нас в плоскость рисунка, а его модуль равен

$$F_n = F_k: |q|vB = |q|E \Rightarrow v = E/B.$$

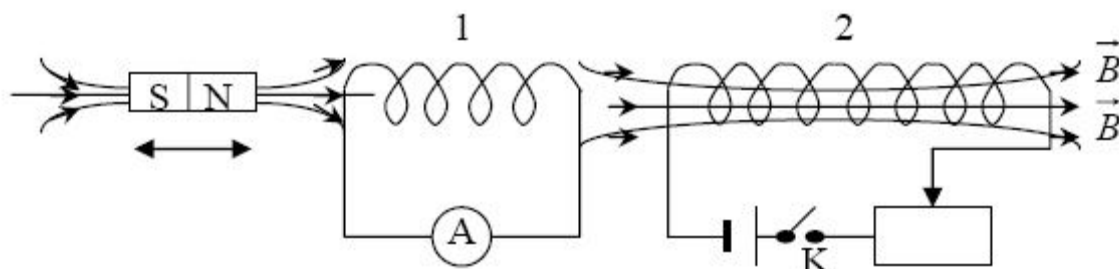
ТЕМА: Электромагнитные явления.

1) Опыты Фарадея. Явление электромагнитной индукции.

В 1831 году М.Фарадей показал, что не только электрический ток создает в окружающем пространстве магнитное поле, но и магнитное поле способно породить в замкнутом проводящем контуре электрический ток, получивший название индукционного тока.

В опытах Фарадея пронизывающий первый контур (катушку 1) магнитный поток изменялся различными способами: 1) замыкалась и размыкалась цепь второго контура; 2) с помощью реостата изменялась сила тока во втором контуре; 3) второй контур приближался или удалялся относительно первого контура; 4) постоянный магнит приближался или удалялся относительно первого

контура; 5) движение совершал контур 1 относительно магнита и контура 2, по которому протекал постоянный ток, и т.д.



Во всех этих опытах переменный магнитный поток, пронизывающий первый контур, приводил к возникновению в нём ЭДС. индукции ε_i и индукционного тока I_i , который фиксировался амперметром. Причём индукционный ток изменял своё направление при смене направления движения магнита, направления движения контуров 1 и 2, при замене нарастающего тока в контуре 2 убывающим со временем током, при замене замыкания цепи второго контура её размыканием. В итоге Фарадей показал, что сила индукционного тока I_i и ЭДС индукции ε_i зависят от скорости изменения магнитного потока, пронизывающего проводящий контур, и не зависят от способа изменения магнитного потока Φ .

2) Закон электромагнитной индукции Фарадея.

Природа сторонних сил. Первое уравнение Максвелла в интегральной форме

На основе проделанных опытов Фарадей сформулировал закон электромагнитной индукции, который гласит: при всяком изменении магнитного потока, пронизывающего проводящий контур, в нём возникает ЭДС индукции ε_i , равная скорости изменения магнитного потока, взятой с обратным знаком.

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}, \quad \Phi = \int_S B ds \cos\alpha,$$

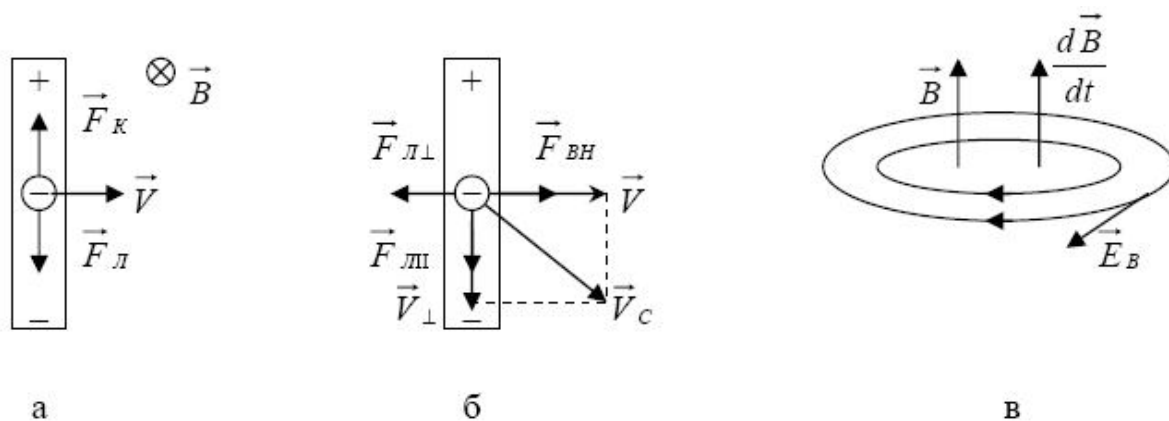
где Φ - магнитный поток, пронизывающий любую поверхность S , опирающуюся на проводящий контур.

Изменение со временем магнитного потока Φ может происходить либо за счёт изменения угла α (вращения контура в магнитном поле), либо изменения площади S контура, либо изменения со временем магнитного поля, в котором находится контур. Во всех этих случаях в контуре возникает ЭДС индукции ε_i , т.е.

возникают сторонние силы, совершающие работу по разделению разноимённых электрических зарядов.

Природа сторонних сил может быть разной.

Случай 1. Вектор \mathbf{B} не зависит от времени, а площадь S контура и угол α изменяются. В постоянном во времени магнитном поле возникновение ЭДС индукции ε_i в проводящем контуре (он вращается, или изменяется его площадь) или в движущемся проводнике (изменяется площадь поверхности, описываемая проводником) обусловлена действием на свободные заряды силы Лоренца. Действительно, как видно из рис. а, сила Лоренца вызывает движение электронов к одному концу проводника, на нём возникает избыток электронов, а на другом конце их недостаток. Следовательно, сила Лоренца разделяет разноимённые заряды, т.е. является сторонней силой.



Случай 2. Вектор \mathbf{B} изменяется со временем, а площадь S контура и угол α остаются постоянными. Опытным путём было доказано, что ЭДС индукции ε_i может возникать и в неподвижном проводящем контуре (проводнике), находящемся в переменном во времени магнитном поле. В этом случае на свободные заряды в проводнике сила Лоренца не действует и для объяснения возникновения ЭДС индукции ε_i Максвелл сформулировал следующее положение (постулат), которое называют первым положением теории Максвелла: переменное во времени магнитное поле порождает в окружающем пространстве вихревое электрическое поле. В отличие от электростатического поля линии вихревого электрического поля являются замкнутыми и лежат в плоскости, перпендикулярной к вектору \mathbf{B} . Силы этого поля являются сторонними силами, они совершают работу по разделению разноимённых зарядов

$$\begin{aligned} \dot{A}_{\text{стор}} &= \oint_{\Gamma} \vec{F}_{\text{стор}} d\vec{l} = q \oint_{\Gamma} \vec{E}_{\text{вихр}} d\vec{l} ; \\ \varepsilon_i &= \frac{A_{\text{стор}}}{q} = \oint_{\Gamma} \vec{E}_{\text{вихр}} d\vec{l} , \end{aligned}$$

Для установления взаимосвязи между электрическим и магнитным полями проводящий контур (проводник) не нужен, он является прибором, который обнаруживает в окружающем пространстве вихревое электрическое поле. Выберем в качестве контура (Γ) воображаемую замкнутую линию. Тогда можно записать

$$\oint_{(\Gamma)} \vec{E} d\vec{l} = - \int_s \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{s} ,$$

Уравнение представляет собой первое уравнение Максвелла в интегральной форме. Оно читается следующим образом: циркуляция вектора \vec{E} суммарного электрического поля по произвольному замкнутому контуру (Γ) равна взятой с обратным знаком скорости изменения магнитного потока через поверхность s , опирающуюся на контур.

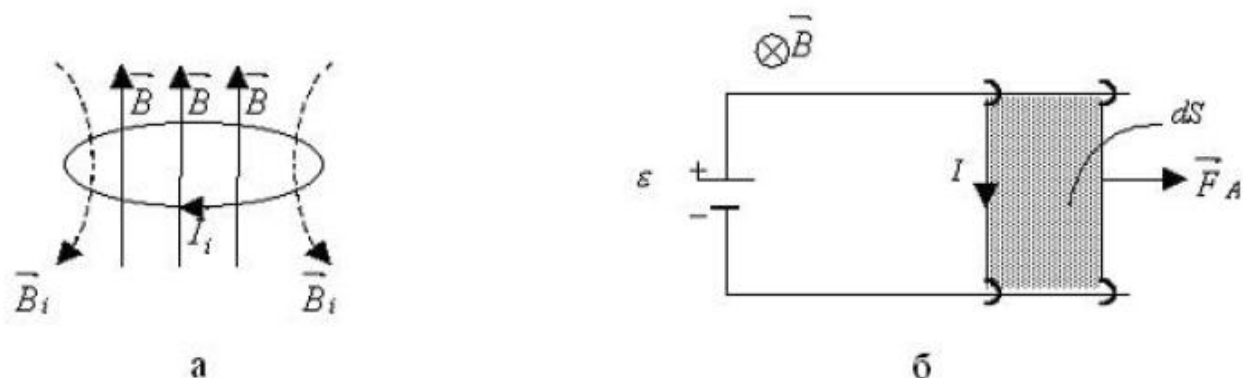
Физический смысл данного уравнения: источником вихревого электрического поля является переменное магнитное поле (в правой части находится источник того, что стоит в левой части уравнения).

3) Правило Ленца.

Наличие ЭДС индукции ε_i в проводящем контуре сопротивлением R приводит к возникновению в нем индукционного тока, который можно рассчитать по закону Ома для полной цепи

$$I_i = \varepsilon_i / R .$$

Направление же индукционного тока можно найти по правилу Ленца. Оно формулируется следующим образом: индукционный ток в контуре возникает такого направления, чтобы создаваемое им магнитное поле препятствовало любым изменениям магнитного потока, вызвавшего этот индукционный ток.

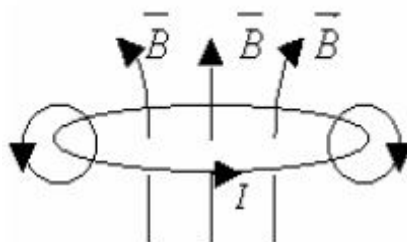


Если внешнее магнитное поле будет убывать со временем, то число линий \mathbf{B} , пронизывающих плоскость контура, будет также убывать ($\Delta\Phi < 0$) и, следовательно, линии \mathbf{B}_i индукционного тока будут направлены в ту же сторону, что и линии \mathbf{B} , и индукционный ток будет направлен против часовой стрелки.

Покажем, что экспериментально установленный Фарадеем закон ЭМИ является следствием закона сохранения энергии. Для этого рассмотрим замкнутый контур, в который входит источник тока с ЭДС ε и подвижный проводник-перемычка, скользящий без трения по направляющим стержням. Контур находится в магнитном поле, линии \mathbf{B} которого перпендикулярны к его плоскости.

4) Явление самоиндукции. Индуктивность контура. Индуктивность соленоида

Возьмём контур, по которому протекает ток I . Он создаёт в окружающем пространстве магнитное поле, линии которого пронизывают плоскость контура. Возникающий при этом магнитный поток получил название магнитного потока самоиндукции Ψ_S , так как сам ток наводит, индуцирует этот магнитный поток.



Под явлением самоиндукции можно понимать явление возникновения магнитного потока самоиндукции при протекании по цепи тока. В случае, когда

контур содержит N витков, используют понятие потокосцепления Ψ_S самоиндукции ($\Psi_S = N\Phi_S$).

Оказывается, что Ψ_S и I прямо пропорциональны друг другу, и поэтому можно записать

$$\Psi_S = LI,$$

где коэффициент пропорциональности L называют индуктивностью контура.

Он описывает способность контура создавать потокосцепление самоиндукции и равен отношению Ψ_S и I :

$$L = \frac{\Psi_S}{I}.$$

Индуктивность контура зависит от геометрических размеров контура, через относительную магнитную проницаемость μ и от магнитных свойств окружающей среды. Для ферромагнитных сред μ зависит от силы текущего по проводнику тока, что приводит к зависимости для таких сред L от I .

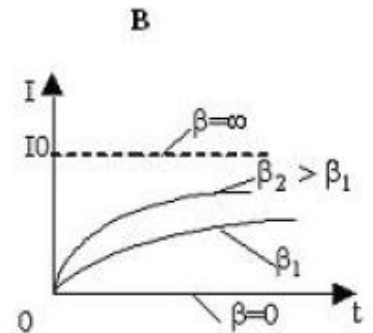
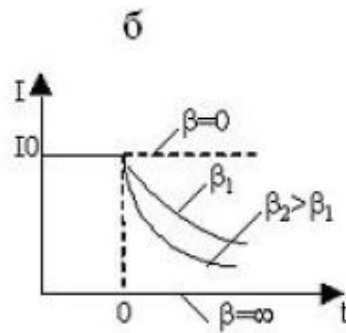
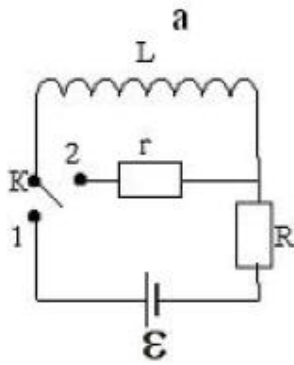
Приведем примеры расчета индуктивности для различных контуров.

Пример 1. Индуктивность длинного соленоида. Рассмотрим соленоид, для которого его длина во много раз превышает диаметр витков. В этом случае для модуля вектора B можно воспользоваться формулой (3.21) и, следовательно, для L получим

$$L = \frac{\Psi_S}{I} = \frac{N\Phi_S}{I} = \frac{NBS \cos 0}{I} = \frac{N\mu\mu_0 InS}{I} = \mu\mu_0 n^2 V,$$

5) Зависимость силы тока от времени при размыкании цепи

Рассмотрим электрическую цепь, приведённую на рис.а. Она содержит источник постоянного тока с ЭДС ε , катушку индуктивности L , сопротивления R и r , а также ключ K .



Когда ключ К находится в положении 1, по цепи протекает постоянный ток $I_0 = \varepsilon / R$, а в катушке сосредоточена энергия в виде энергии W_M магнитного поля. В момент времени $t=0$ ключ К перебрасывают в положение 2, цепь размыкается, и ток в ней начинает убывать, он убывает постепенно за счёт возникающего в катушке явления самоиндукции. При этом запасённая в катушке энергия магнитного поля расходуется на поддержание убывающего тока, нагревание проводников.

Выведем формулу для зависимости силы тока от времени при размыкании цепи. Для этого запишем закон Ома для полной цепи:

$$Ir = \varepsilon_S, \quad -L \frac{dI}{dt} = Ir, \quad \frac{dI}{I} = -\beta dt;$$

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = -\beta \int_0^t dt, \quad \ln \frac{I}{I_0} = -\beta t,$$

$$I = I_0 e^{-\beta t}, \quad \beta = r/L.$$

На рис.б приведены построенные по уравнению зависимости силы тока I от времени t при различных значениях параметра β - от нуля. Из формулы следует, что чем больше β , т.е. чем больше r или меньше L , тем быстрее убывает ток в цепи.

Рассмотрим зависимость ЭДС самоиндукции ε_S от времени t при размыкании цепи. Для этого подставим формулу для силы тока в выражение:

$$\varepsilon_s = -L \frac{dI}{dt} = -L \frac{d}{dt}(I_0 e^{-\beta t}) = -L I_0 \left(-\frac{1}{\beta}\right) e^{-\beta t} = r I_0 e^{-\beta t} = \varepsilon \frac{r}{R} e^{-\beta t},$$

$$\varepsilon_s(0) = \varepsilon \frac{r}{R} \gg 1.$$

Итак, из-за того, что $r \gg R$, в начальные моменты времени при размыкании цепи наблюдается скачок ЭДС самоиндукции, и она может

Поэтому электрические цепи, содержащие большую индуктивность, необходимо размыкать так, чтобы сопротивление увеличивалось не скачком, а постепенно.

ТЕМА: Уравнения максвелла

1) Второе уравнение Максвелла в интегральной форме. Ток смещения.

Основная идея теории Максвелла заключалась во взаимосвязи между собой электрических и магнитных полей: если переменное магнитное поле порождает в окружающем пространстве электрическое поле (первое положение теории Максвелла), то в свою очередь и переменное электрическое поле должно создавать в окружающем пространстве магнитное поле. В связи с этим Максвелл сформулировал второе положение теории Максвелла, а именно: переменное электрическое поле порождает в окружающем пространстве магнитное поле.

Следовательно, в теореме о циркуляции вектора \mathbf{B} к источникам магнитного поля в виде токов проводимости добавляется ещё один источник, который Максвелл назвал током смещения,

$$\oint_{\Gamma} \vec{B} d\vec{l} = \mu\mu_0 \left(\sum_i I_{пр,i} + I_{см} \right) = \mu\mu_0 \int_S (\vec{j}_{пр} + \vec{j}_{см}) dS.$$

Формула получила название закона полного тока.

В выражение введены плотности тока проводимости $(\vec{j}_{пр})$ и смещения $(\vec{j}_{см})$; интеграл берётся по поверхности S , опирающейся на контур (Γ) .

Под током смещения $I_{см}$ понимают скалярную физическую величину, измеряемую в амперах, характеризующую способность электрического поля

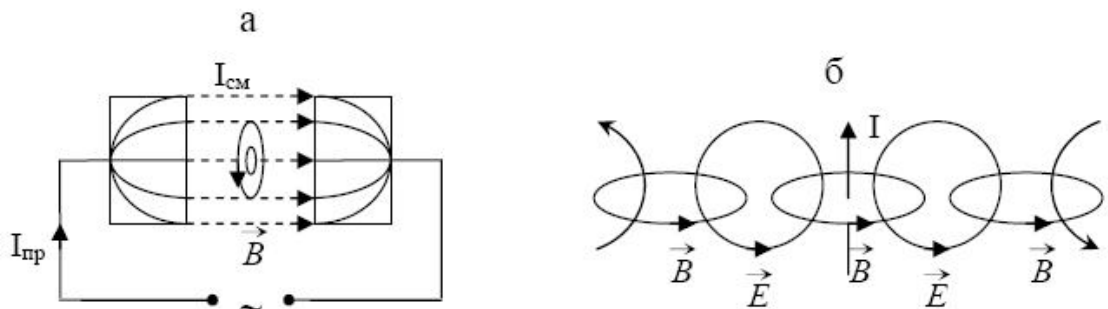
создавать магнитное поле, и пропорциональную скорости изменения во времени напряжённости \vec{E} электрического поля.

Установим формулу связи плотности тока смещения $\vec{j}_{см}$ с напряжённостью \vec{E} переменного электрического поля. Для этого рассмотрим электрическую цепь, содержащую плоский конденсатор с площадью пластин S . Протекание переменного тока в такой цепи сопровождается плавным переходом на границе пластин конденсатора тока проводимости в ток смещения, который существует в пространстве внутри конденсатора. Записывая условия непрерывности на границе обкладок, получим

$$j_{см} = j_{пр} = \frac{I}{S} = \frac{1}{S} \cdot \frac{dq}{dt} = \left[E = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0} = \frac{q}{S\epsilon\epsilon_0} \right] = \epsilon\epsilon_0 \frac{dE}{dt},$$

$$I_{см} = \int_S \vec{j}_{см} d\vec{S}, \quad \vec{j}_{см} = \epsilon\epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t},$$

где σ - поверхностная плотность заряда на пластинах конденсатора; \vec{E} - напряжённость электрического поля внутри конденсатора; ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость среды между обкладками.



где r - расстояние от осевой линии внутри конденсатора до рассматриваемой точки пространства.

Введение понятия тока смещения позволяет по-другому объяснить отсутствие постоянного тока проводимости в электрической цепи, содержащей конденсатор. В этом случае в такой цепи не возникает переменного электрического

поля между обкладками конденсатора, поэтому тока смещения не будет и линии тока проводимости на обкладках конденсатора прерываются.

Получим второе уравнение Максвелла в интегральной форме следующего вида:

$$\oint_{(\Gamma)} \vec{B} d\vec{l} = \mu\mu_0 \left(\sum_i I_{np_i} + I_{см} \right) = \mu\mu_0 \int_S \left(\vec{j}_{np} + \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) d\vec{S}.$$

Уравнение читается следующим образом: циркуляция вектора \mathbf{B} магнитного поля по произвольному замкнутому контуру (Γ) равна сумме токов проводимости и смещения, охватываемых контуром (Γ), умноженной на коэффициент ($\mu\mu_0$).

2) Полная система уравнений Максвелла

В основе теории Максвелла, позволяющей описывать электрические и магнитные явления в любой среде (и в вакууме, в частности), лежат два положения о взаимосвязи согласно электрических и магнитных полей, согласно которым: 1) переменное во времени магнитное поле порождает в окружающем пространстве вихревое электрическое поле; 2) переменное во времени электрическое поле создает в пространстве магнитное поле.

Отражением этих положений теории Максвелла являются два его первых уравнения - они являются обобщением закона электромагнитной индукции Фарадея и теоремы о циркуляции вектора \mathbf{B} :

$$\begin{array}{ll} 1. \quad \oint_{(\Gamma)} \vec{E} d\vec{l} = - \int_S \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} d\vec{S}. & 2. \quad \oint_{(\Gamma)} \vec{B} d\vec{l} = \mu\mu_0 \left(\sum_i I_{np_i} + I_{см} \right) = \mu\mu_0 \int_S \left(\vec{j}_{np} + \varepsilon\varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \right) d\vec{S} \\ 3. \quad \oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{1}{\varepsilon\varepsilon_0} q_{\Sigma}. & 4. \quad \oint_S \vec{B} d\vec{S} = 0. \\ 5. \quad \vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0 \vec{E}. & 6. \quad \vec{B} = \mu\mu_0 \vec{H}. \quad 7. \quad \vec{j} = \sigma \vec{E}. \end{array}$$

Третье и четвёртое уравнения Максвелла представляют собой теоремы Гаусса для электростатического и магнитного полей. Физический смысл этих уравнений состоит в следующем: источником электростатического поля являются свободные и связанные заряды; в природе отсутствуют магнитные заряды, т.е. линии вектора \vec{B} магнитного поля являются замкнутыми.

Пятое и шестое уравнения Максвелла вводят векторы электрического смещения \vec{D} и напряжённости \vec{H} магнитного поля, которые в отличие от истинных векторов \vec{E} и \vec{B} являются вспомогательными, вводимыми для удобства описания полей в присутствии вещества.

Седьмое уравнение Максвелла представляет собой закон Ома в дифференциальной форме, где σ - удельная проводимость вещества.

Записанные выше семь уравнений справедливы для однородных изотропных неферромагнитных и несегнетоэлектрических сред, для которых формулы связи, выражаемые пятым, шестым и седьмым уравнениями, являются достаточно простыми, так как параметры ϵ , μ и σ являются постоянными числами.

Наиболее удобной является полная система уравнений Максвелла в дифференциальной форме:

$$\begin{aligned}
 1. \quad \operatorname{rot} \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} & 2. \quad \operatorname{rot} \vec{H} &= (\vec{j}_{\text{вп}} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}) & 3. \quad \operatorname{div} \vec{D} &= \rho & 4. \quad \operatorname{div} \vec{B} &= 0 \\
 5. \quad \vec{D} &= \vec{D}(\vec{E}). & 6. \quad \vec{B} &= \vec{B}(\vec{H}). & 7. \quad \vec{j} &= \vec{j}(\vec{E}).
 \end{aligned}$$

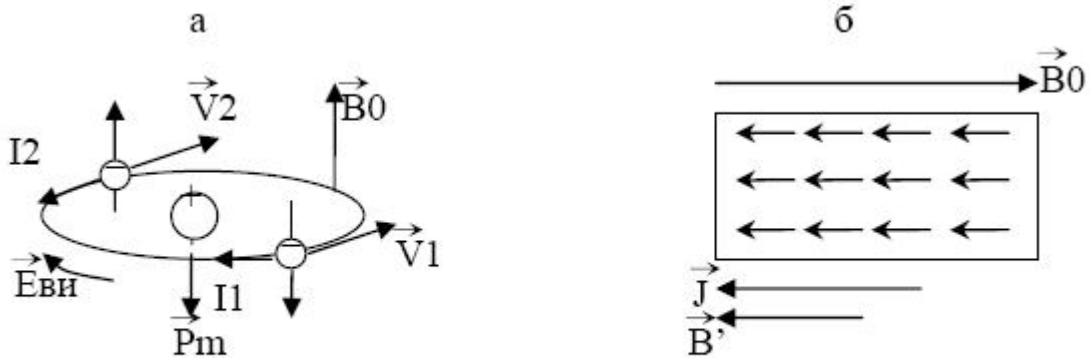
Она справедлива для малой окрестности любой точки пространства и при задании начальных и граничных условий позволяет решать любые задачи классической макроскопической электродинамики. Полная система уравнений Максвелла играет в электромагнетизме такую же роль, как законы Ньютона в механике.

ТЕМА: Магнитное поле в веществе.

1) Диамагнетики.

Это вещества, у которых в отсутствии внешнего магнитного поля магнитный момент атома равен нулю. Для них магнитная восприимчивость не зависит от индукции внешнего магнитного поля, принимает малые по модулю отрицательные значения $\chi = -(10^{-4} - 10^{-5})$, что означает незначительное ослабление внешнего магнитного поля \vec{B}_0 ($\mu \leq 1$) в присутствии диамагнетиков и противоположное направление векторов \vec{B}' , \vec{J} и вектора \vec{B}_0 . Во внешнем неоднород-

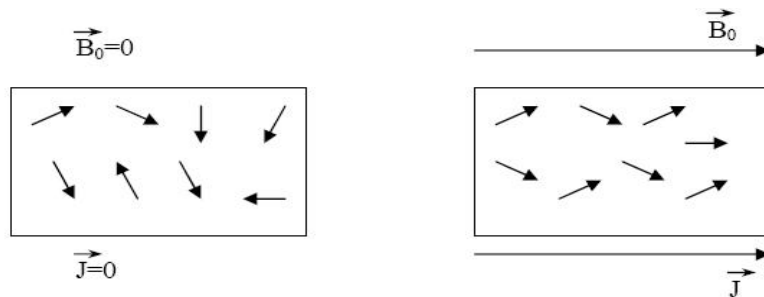
ном магнитном поле диамагнетик будет перемещаться и выталкиваться в область более слабого поля.



диамагнетикам относятся инертные газы, металлы Bi, Zn, Cu, Ag, Au, Hg, стекло, мрамор, различные смолы и т.д.

Диамагнитный эффект - возникновение индуцированного магнитного момента атома $\vec{p}_{m.инд}$, направленного противоположно внешнему магнитному полю \vec{B}_0 , свойственен всем веществам, но для остальных групп магнетиков он не учитывается ввиду его малости.

2) Парамагнетики.



Это вещества, у которых в отсутствии внешнего магнитного поля магнитный момент атома отличен от нуля. Для них χ не зависит от \vec{B}_0 , принимает малые числовые значения $\chi = (10^{-3} - 10^{-2}) > 0$, что означает незначительное увеличение внешнего магнитного поля в присутствии парамагнетика ($\mu \geq 1$) и параллельность векторов \vec{B}' и \vec{J} вектору \vec{B}_0 . Во внешнем неоднородном магнитном поле парамагнетик будет перемещаться и втягиваться в

область более сильного поля. К парамагнетикам относятся щелочные и щелочноземельные металлы, Al, Pt, растворы солей железа, газы азот и кислород, редкоземельные металлы и их соединения и т.д.

По теории Ланжевена парамагнетик по отношению к магнитным свойствам заменяется газом магнитных стрелок, принимающих участие в тепловом движении. Стрелки моделируют магнитные моменты атомов. В отсутствии внешнего магнитного поля тепловое движение разбрасывает стрелки хаотично по всем направлениям и поэтому $\vec{B}' = 0$, $\vec{J} = 0$. Во внешнем магнитном поле на магнитные стрелки действуют силы магнитного поля, стремящиеся установить их вдоль линий магнитной индукции. В итоге наблюдается преимущественная ориентация магнитных моментов атомов вдоль линий магнитного поля, появляется намагниченность парамагнетика.

В теории Ланжевена для магнитной восприимчивости справедлив закон Кюри, который определяет зависимость χ от температуры:

$$\chi = \frac{c}{T}$$

где c - постоянная Кюри.

С повышением температуры усиливается фактор теплового движения атомов, и поэтому во внешнем магнитном поле фиксированной величины B_0 магнитная восприимчивость уменьшается, что и приводит к уменьшению числовых значений векторов \vec{B}' и \vec{J} .

3) Ферромагнетики.

Группу магнитоупорядоченных веществ составляют вещества, у которых в отсутствие внешнего магнитного поля магнитный момент атома не равен нулю. В отличие от парамагнетиков для них магнитная восприимчивость существенно зависит от индукции \vec{B}_0 внешнего магнитного поля.

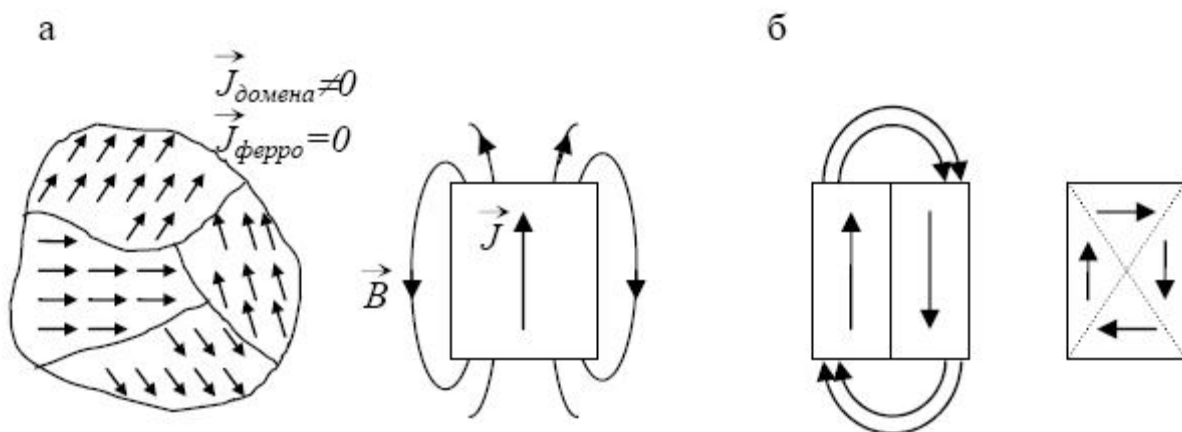
Рассмотрим подробнее ферромагнетики, которые наиболее широко применяются на практике.

К ферромагнетикам относятся такие металлы как Fe, Co, Ni, Gd, сплавы и соединения этих элементов и т.д. Перечислим основные особенности ферромагнетиков.

Ферромагнетизм обусловлен спиновыми магнитными моментами атомов.

1. Атомы ферромагнетиков имеют незаполненные внутренние электронные оболочки, что приводит к большим магнитным моментам атомов.

2. Между магнитными моментами соседних атомов устанавливается обменное взаимодействие, которое приводит к параллельной ориентации магнитных моментов атомов в микрообластях, называемых доменами. Направления магнитных моментов атомов различных доменов разные, поэтому общая намагниченность ферромагнетика равна нулю (рис.а).

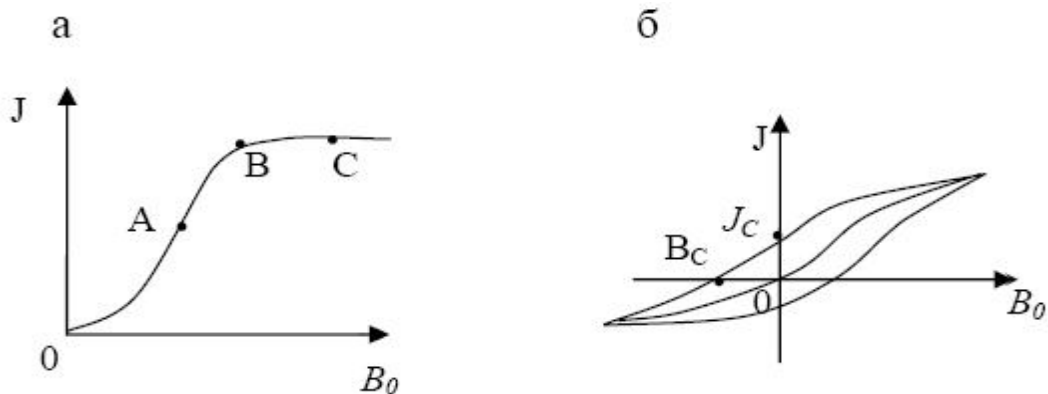


Размеры доменов устанавливаются за счёт действия двух факторов:

а) энергетически выгодно увеличивать число доменов, так как уменьшается энергия, необходимая для поддержания магнитного поля за пределами ферромагнетика (рис.б);

б) энергетически выгодно уменьшать число доменов, так как уменьшается длина границ, на которых из-за большого градиента магнитного поля (на границах между доменами резко изменяется направление магнитных моментов

атомов) накапливается магнитная энергия. В итоге размеры доменов составляют порядка $l \approx (10^{-2} - 10^{-4})$ см.



3. Магнитная восприимчивость χ существенно зависит от величины индукции внешнего магнитного поля, достигая значений, превышающих в ряде случаев в 10^{10} раз значения χ для парамагнетиков. Намагниченность ферромагнетика достигает насыщения в слабых магнитных полях. Основная кривая намагничивания является нелинейной (рис.а).

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

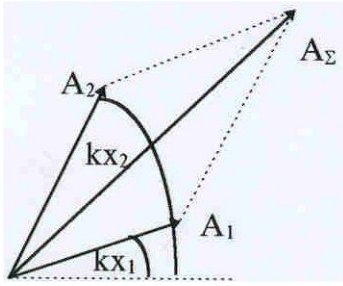
ТЕМА: Интерференция света.

1) Развитие представлений о природе света.

Первая стройная теория света была разработана И. Ньютоном в конце семнадцатого века. Ньютон считал, что свет – это поток мельчайших частиц – корпускул, поэтому его теория получила название корпускулярной. Одновременно с ним Гук и Гюйгенс развивали волновую теорию, однако она не получила широкого признания отчасти из-за высокого авторитета Ньютона и отчасти из-за недостатков самой теории, которая представляла свет как упругие колебания среды. Лишь позднее была предложена гипотеза о существовании особой среды, заполняющей всю Вселенную, - **эфира**, упругие свойства которого обеспечивали требуемую скорость распространения света. Успехи волновой теории связаны с работами Юнга, Френеля и Пуассона, которые были выполнены в первой половине XIX века. Работы этих исследователей позволили объяснить такие явления как интерференция и дифракция света. Д. Максвелл установил, что свет – это электромагнитные волны. В тот момент, когда волновая теория стала общепризнанной, были установлены закономерности излучения света атомами и открыт фотоэффект. Эти факты противоречили волновой теории. Позднее была развита новая теория – дуалистическая, где свету приписывались и волновые и корпускулярные свойства. Луи де Бройль высказал гипотезу о всеобщем дуализме материи: каждая частица обладает волновыми свойствами, и каждой волне могут быть приписаны определенная масса и импульс. Свет – лишь пример проявления дуализма в природе. В нашем курсе мы будем рассматривать преимущественно волновые явления.

2) Интерференция света.

Интерференцией называется сложение волн от двух или нескольких источников, когда в результате сложения нарушается принцип суперпозиции интенсивностей. При сложении волн должен выполняться принцип супер-позиции энергий каждой из слагаемых волн.



Пусть имеется две плоских волны $y_1 = A_1 \sin(\omega t - kx_1)$ и $y_2 = A_2 \sin(\omega t - kx_2)$, где x_1 и x_2 -расстояния, которые прошли волны до момента встречи. Для того, чтобы найти сумму колебаний от двух волн в точке встречи, представленных в векторном виде.

по теореме косинусов можно записать:

$$A_{\Sigma}^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos k(x_2 - x_1) ,$$

т.е. результат сложения зависит от разности $x_2 - x_1$.

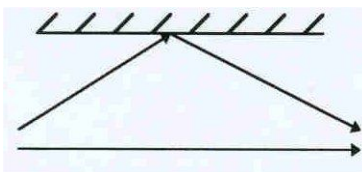
При условии $k(x_2 - x_1) = 2\pi n$ ($n = 0, 1, 2$ и т.д.)

$$A_{\Sigma}^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 = (A_1 + A_2)^2, \text{ а при } k(x_2 - x_1) = (2n-1)\pi$$

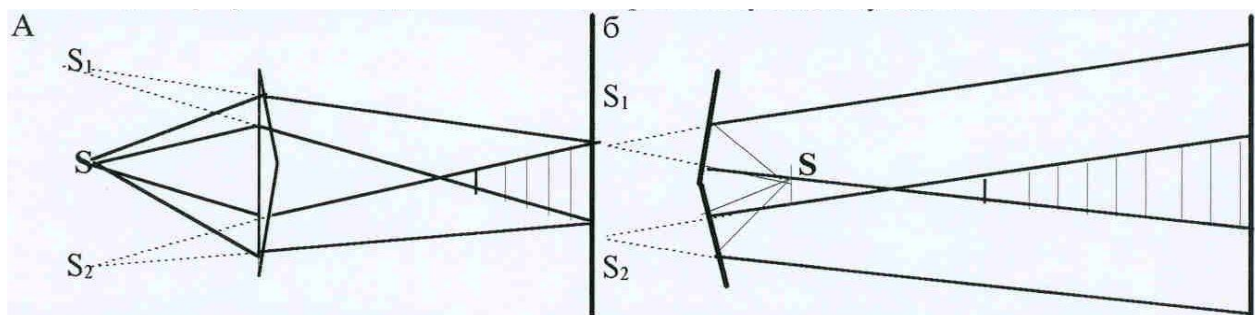
$$A_{\Sigma}^2 = A_1^2 + A_2^2 - 2A_1A_2 = (A_1 - A_2)^2 .$$

Очевидно, что при условии $A_1=A_2$ $A_{\Sigma}^2 = 4A_1^2$ или $A_{\Sigma}^2 = 0$ в зависимости от разности хода $x_2 - x_1$. Если учесть, что энергия каждой волны равна A^2 , суммарная энергия должна равняться $2A^2$, тогда как результат сложения либо в два раза больше, чем суммарная энергия, либо равен нулю, т.е. кажется, что не выполняется закон сохранения энергии. Колебания, для которых подобные результаты имеют место, называются **когерентными**. Если принцип суперпозиции выполняется, то источники называют некогерентными.

Практическое получение когерентных колебаний связано с определенными трудностями. Необходимо иметь в виду, что световые волны получаются при излучении атомов, когда электроны переходят с одного энергетического уровня на другой. Время излучения крайне незначительно и составляет около 10^{-8} сек. Новый кат излучения происходит с другой начальной фазой, которая раз от раза изменяется случайным образом.



Для получения когерентных волн необходимо, чтобы они происходили из одного цуга. Это можно сделать лишь путем его деления. Для этих целей используются специальные приспособления: бипризмы и бизеркала Френеля и др.



«Раздвоение» источника достигается либо преломлением в призме, либо отражением в двух зеркалах. Угол «разворота» зеркал и преломляющий угол призмы близки к 180° для того, чтобы достичь наилучшей видимости картины интерференции.

Как было показано, амплитуда суммарных колебаний определяется. Вследствие этого время, затрачиваемое светом на прохождение пути AD будет больше в n раз, где n – показатель преломления пленки. Поэтому принято говорить об оптической длине пути света, которая равна ADn . Теперь разность оптических путей лучей разностью хода интерферирующих волн или разностью фаз складывающихся колебаний. Если разность фаз $\Delta\varphi$ изменяется случайным образом, то среднее значение $\cos\Delta\varphi$ за время наблюдения равно нулю, и мы видим обыкновенное сложение интенсивностей. Если же источники когерентны, то при условии $k(x_2 - x_1) = 2\pi n$ колебания дадут максимум суммарной амплитуды, а при $k(x_2 - x_1) = (2n-1)\pi$ – минимум. Учитывая, что $k = 2\pi/\lambda$, (λ – длина волны) условия максимума и минимума интенсивностей можно записать так:

$$(x_2 - x_1) = 2n\lambda/2 \quad \text{для максимума,}$$

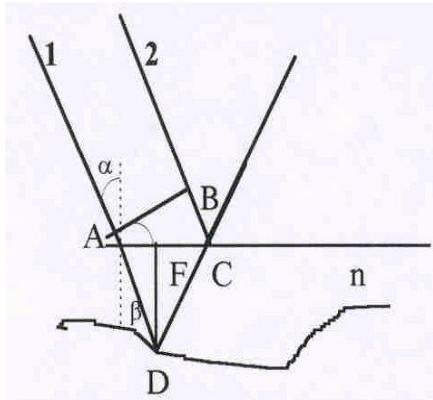
$$(x_2 - x_1) = (2n-1)\lambda/2 \quad \text{для минимума.}$$

Нарушение закона сохранения энергии при этом не происходит. Она лишь перераспределяется – в \max – больше, а в \min меньше, но средняя энергия остается неизменной. Глаз воспринимает такое перераспределение как чередование темных и светлых полос, контрастность которых определяется соотношением интенсивностей интерферирующих источников.

3) Полосы равной толщины.

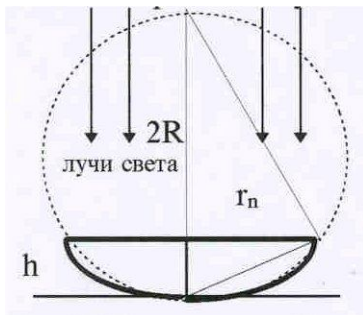
Наиболее часто в повседневной жизни явление интерференции проявляется в так называемых полосах равной толщины, которые получаются при отражении света от тонких

1 и 2 $\Delta = 2n(AD) - BC + \lambda/2$. Величина $\lambda/2$ добавляется потому, что происходит



пленок. Пусть имеется тонкая пленка переменной толщины, на которую падают параллельные лучи света. Выберем два луча, один из которых отражается от верхней поверхности пленки, а другой – от нижней. Разность хода между лучами определяется удвоенной длиной AD и участком BC. Однако следует иметь в виду, что пленка является более плотной оптической средой, и скорость света в ней меньше.

изменение фазы волны на 180° , что эквивалентно увеличению пути на $\lambda/2$. Из рис можно увидеть, что $AD = DF/\cos\beta$; $AF = DF\text{tg}\beta$; $AC = 2AF = 2DF\text{tg}\beta$; $BC = AC\sin\alpha = 2DF\text{tg}\beta \sin\alpha$. Согласно закону преломления света $\sin\alpha = n\sin\beta$. С учетом этого $\Delta = 2nDF/\cos\beta - 2DF\sin\alpha\text{tg}\beta + \lambda/2 = 2nDF(1 - \sin^2\beta)/\cos\beta + \lambda/2 = 2DF\cos\beta + \lambda/2$. Если $\Delta = (2n-1)\lambda/2$, то $2DFn\cos\beta = n\lambda$ соответствует условию минимума освещенности, а $\Delta = n\lambda = 2DFn\cos\beta + \lambda/2$ – условию максимума. Условия интерференции будут одинаковыми для всех мест, где толщина пленки также одинакова и локализована на поверхности пленки. На поверхности пленки будут видны цветные пятна. Частным случаем полос равной толщины являются кольца Ньютона.



Роль пленки переменной толщины здесь играет воздушная прослойка между собирающей линзой и стеклянной пластинкой. Т.к. оптическая структура обладает осевой симметрией, наблюдающиеся интерференционные полосы принимают вид concentric rings.

Для толщины прослойки h разность хода между лучами, отраженными от нижней поверхности линзы и от пластинки соответственно равна $\Delta = 2h + \lambda/2 - (\lambda/2)$ добавляется из-за условий отражения. В то же время: $(2R - h)h = r_m^2$, где m – номер наблюдаемого кольца. Пренебрегая малой величиной h^2 по сравнению с радиусом линзы R , находим $2Rh = r_m^2$. Для темных колец $\Delta =$

$(2m+1)\lambda/2 = 2h + \lambda/2$ и $2h = m\lambda$. Подставляя это соотношение в формулу для квадрата радиуса кольца, получим: $r_m = \sqrt{mR\lambda}$.

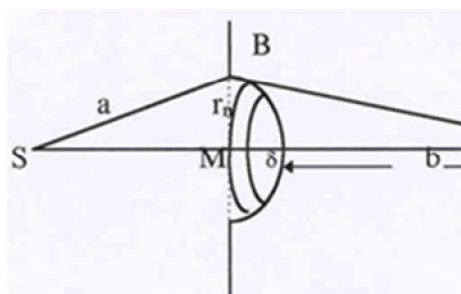
ТЕМА: Дифракция световых волн.

1) Метод зон Френеля. Дифракция на круглом отверстии.

Дифракцией называется когерентное рассеяние света на объектах, геометрические размеры которых сравнимы с длиной световой волны. Наблюдающаяся дифракционная картина является результатом интерференции вторичных источников, образующихся на поверхности объекта. Рассмотрим качественный подход к решению этой задачи, развитый Френелем. Основной идеей, определяющей сущность такого рассмотрения, является **принцип Гюйгенса – Френеля**, который представляет собой дополненный принцип Гюйгенса. Френель постулировал, что все элементарные вторичные источники являются когерентными. Для оценки результирующей амплитуды колебаний в точке наблюдения был разработан специальный метод, получивший название метода зон Френеля. Согласно этому методу волновой фронт (будем называть волновым фронтом поверхность, которая соединяет все точки, колеблющиеся в одинаковой фазе) разбивается на отдельные участки, именуемые зонами. Разбиение на зоны должно удовлетворять двум условиям:

- площади всех зон одинаковы,
- расстояния от двух соседних зон до точки наблюдения отличаются на половину длины волны.

Первое условие означает, что амплитуды колебаний от всех зон в точке наблюдения будут одинаковыми, тогда как из второго условия следует, что колебания двух соседних зон складываются в противофазе. В этом случае вместо вычисления сложных интегралов достаточно подсчитать число зон. Если оно – четно – в точке наблюдения будет минимум освещенности (зоны попарно гасят друг друга), если же количество зон на участке волнового фронта, видимого из точки наблюдения, окажется нечетным – в ней будет конечная освещенность. Применим метод зон к анализу дифракции Френеля, когда источник света – точечный, и волновая поверхность имеет форму сферы. В качестве препятствия рассмотрим небольшое круглое отверстие в непрозрачном экране. Выберем точку наблюдения O так, чтобы в отверстии укладывалось бы целое число зон Френеля.



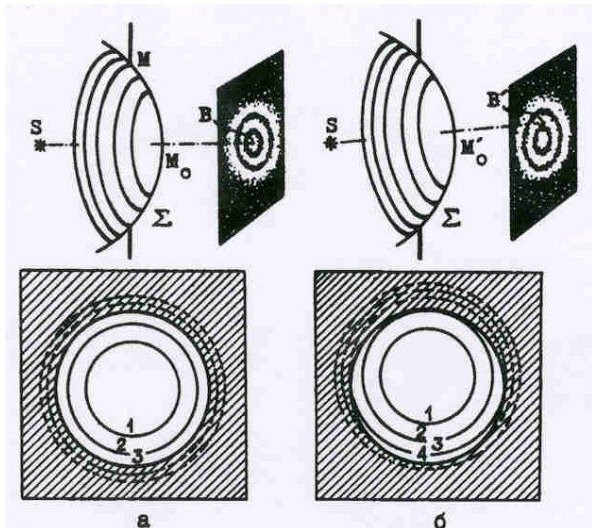
Пусть волновой фронт от точечного источника S. Расстояние от точки наблюдения O до плоскости экрана равно $MO = b + \delta$. Мысленно разобьем волновой фронт на концентрические зоны так, что расстояние от n – зоны до точки наблюдения O равно $b + n\lambda/2$. Из треугольника SBM по теореме Пифагора получим:

$$MB^2 = SB^2 - SM^2 = r_n^2 = a^2 - (a - \delta)^2 \approx 2a\delta.$$

Аналогично из $\triangle OMB$: $MB^2 = OB^2 - OM^2 = r_n^2 = a^2 - (a - \delta)^2 \approx 2a\delta.$

Выражая отсюда δ получим формулу для радиуса любой зоны:

$$r_n = \sqrt{\frac{abn\lambda}{a+b}}.$$

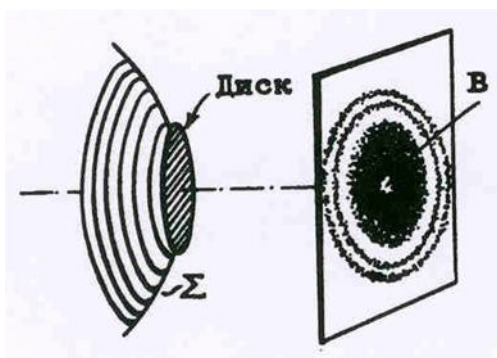


Рассмотрим, как будет изменяться результат сложения колебаний при изменении положения точки O. Если точка смещается вдоль оси SO, то характер разбиения на зоны не изменится, произойдет лишь изменение числа зон, укладывающихся в отверстии, т.е. будет наблюдаться чередование максимумом и минимумов освещенности.

Если же точка O смещается перпендикулярно оси SO, то характер разбиения на зоны также не изменится, но произойдет поворот направления наблюдения относительно перпендикуляра, восстановленного из центра отверстия к плоскости экрана Пусть для определенности в тот момент, когда точка наблюдения нахо-

дится на оси OS, а в отверстии укладывается нечетное число зон (например – три). Когда часть наружной зоны начнет закрываться, освещенность уменьшится. Одновременно с противоположного края отверстия появится часть новой зоны, которая еще больше уменьшит освещенность. Поэтому при дальнейшем удалении точки наблюдения от оси наступит момент, когда освещенность уменьшится до нуля. Это условие будет выполняться для всех точек, находящихся на окружности, радиус которой определяется расстоянием от точки наблюдения до оси OS. Вокруг светлой точки появится темное кольцо, можно прийти к заключению, что дифракционная картина от круглого отверстия представляет собой чередование светлых и темных колец.

2) Дифракция Френеля на круглом экране.



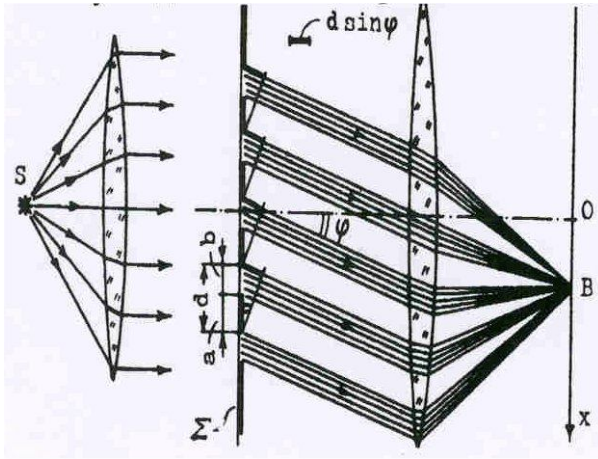
Пусть препятствием служит теперь небольшой непрозрачный диск, и пусть радиус волнового фронта настолько велик, что волновая поверхность Σ практически совпадает с плоской поверхностью. Разобьем волновой фронт на зоны Френеля. В точку наблюдения В приходят все колебания волнового фронта за исключением тех зон, которые закрыты диском.

Это суммарное колебание на векторной диаграмме изобразится вектором A_D . Начало вектора соответствует точке, лежащей на краю диска.

При изменении расстояния от диска до точки В число закрытых зон будет меняться, и начало вектора A_D станет описывать окружность вокруг центра спирали, тогда как конец вектора всегда находится в ее центре.

3) Дифракция Фраунгофера.

Этот вид дифракции наблюдается в параллельных лучах, когда волновой фронт становится плоским, а зоны Френеля принимают вид узких прямоугольных полосок.



В роли препятствия здесь выступает узкая прямоугольная щель. Разбиение поверхности щели на зоны Френеля осуществляется следующим образом: через край щели (точка M_0) проводится плоскость ($M_0 P$), перпендикулярная идущим в точку наблюдения лучам, а затем проводятся параллельные ей плоскости, отстоящие друг от друга на

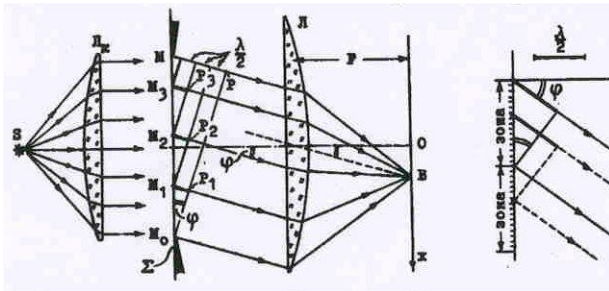
Предположим, что угол φ выбран таким образом, что на ширине щели укладывается целое число зон, т.е. $MP = k\lambda/2$ ($k = 1, 2, 3 \dots$). В то же время из $\Delta M_0 P M$ следует, что $MP = MM_0 \sin \varphi$ или $MP = b \sin \varphi$. Если число зон четное ($k = 2m$), то выбранное направление соответствует минимуму освещенности (зоны попарно гасят друг друга), а если – нечетно ($k = 2m - 1$) – то максимуму. Таким образом, имеем:

$$b \sin \varphi = m\lambda \text{ - условие минимума,}$$

$$b \sin \varphi = (2m - 1)\lambda/2 \text{ - условие максимума.}$$

При движении точки наблюдения в направлении, перпендикулярном плоскости рисунка (вдоль длинной стороны щели) картина не изменяется, и на экране видны чередующиеся темные и светлые полосы.

4) Дифракционная решетка.



Дифракционная решетка – это непрозрачная пластинка с одинаковыми параллельными равноотстоящими друг от друга щелями. Обозначим, как и прежде, ширину щели b , а ширину непрозрачного участка – a . Величину $d = a + b$ называют периодом или постоянной решетки.

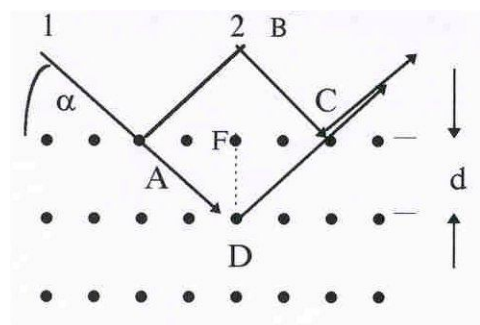
Применяя принцип Гюйгенса-Френеля, можно заметить, что теперь в каждой точке экрана для наблюдений собираются лучи, идущие от всех N щелей. Для вычисления результата сложения выделим в каждой щели одинаковые точки.

Две таких точки в соседних щелях при заданном угле φ имеют разность фаз, равную $\theta = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \varphi$. В точке наблюдения колебания от всех щелей сложатся в одинаковых фазах, если разность фаз θ равна $2\pi n$ ($n = 0, 1, 2, \dots$), т.е. $\theta = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \varphi = 2\pi n$, откуда получается условие для максимумов $d \sin \varphi = n\lambda$. Можно показать, что кроме этих максимумов существуют еще другие, положения которых зависят от числа щелей, но интенсивность их крайне незначительна. Чтобы различать эти максимумы с теми, которые удовлетворяют условию $d \sin \varphi = n\lambda$, принято называть их дополнительными максимумами, а максимумы, соответствующие условию $d \sin \varphi = n\lambda$ - главными. Значение числа n определяет порядок главного максимума (первый максимум, второй и т.д.) Между максимумами должны располагаться минимумы освещенности, но с практической точки зрения они не представляют особого интереса и в нашем курсе не рассматриваются.

Решетку можно использовать как спектральный аппарат. Все спектральные аппараты характеризуются такими величинами как дисперсионная область, угловая дисперсия и разрешающая способность.

5) Дифракция рентгеновских лучей.

Рентгеновскими лучами называют электромагнитное излучение, длина волн которого примерно равна 10^{-10} м. Длина волны рентгеновских лучей много меньше световых волн,



поэтому наблюдать дифракцию этих лучей в стандартных схемах не удастся. Препятствиями, размеры которых сравнимы с длиной волны рентгеновских лучей, могут служить лишь межатомные расстояния в твердых телах. Атомы кристалла расположены в правильном порядке, образуя плоскости, отражающие лучи.

Коэффициент преломления лучей близок к единице, и лучи отражаются от различных плоскостей без заметного преломления ($n_p \approx 1$). Обозначая угол скольжения лучей через α , а расстояние между отдельными слоями через d , можно заметить, что разность хода между интерферирующими лучами $\delta = AD + DC -$

BC. Из $\triangle ADF$ $AD = FD/\sin\alpha$; $AF = dtg\alpha$, а из $\triangle ABC$ $BC = 2AF\cos\alpha$. С учетом того, что $AD = DC$, имеем:

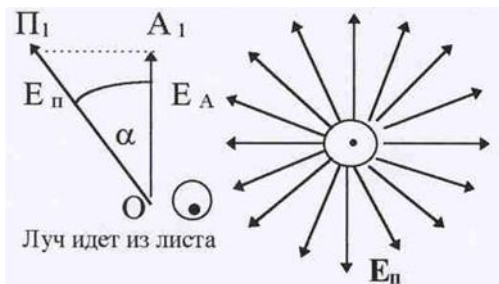
$$\delta = \frac{2d}{\sin\alpha} - \frac{2d\cos^2\alpha}{\sin\alpha} = 2d\sin\alpha.$$

Условие максимума будет выполняться при $2d\sin\alpha = k\lambda$, где k – целое число. Полученная формула носит название формулы **Вульфа – Брэггов**.

ТЕМА: Поляризация света.

1) Естественный и поляризованный свет. Явление поляризации.

Обычно считается, что понятие поляризации связано с сохранением неизменной ориентации плоскости колебаний. Говорить о поляризации имеет смысл только для поперечных колебаний. Свет, как мы знаем, является электромагнитной волной, а эти волны – поперечны и поляризованы так, что казалось бы, световые колебания всегда должны быть поляризованы. Однако мы знаем, что световые волны испускаются отдельными цугами, продолжительность которых не превышает 10^{-8} сек. Процесс испускания является слу-



чайным, и фаза испущенной волны, а также ориентации векторов E и B в плоскости, перпендикулярной направлению излучения, могут быть любыми. Т.к. вектора E и B в волне жестко связаны друг с другом, имеет смысл рассматривать лишь один из них (пусть, для определенности, это будет вектор E).

В среднем, в любой волне все допустимые ориентации вектора E равновероятны. Существуют приспособления, называемые поляризаторами, которые обладают способностью пропускать через себя световые лучи только с одним направлением плоскости колебаний электрического вектора E , так что на выходе поляризатора свет становится плоско (линейно) поляризованным. Человеческий глаз не в состоянии обнаружить, поляризован свет или неполяризован. Для того, чтобы обнаружить это, необходимо использовать второе такое же приспособление, которое называют анализатором. Если направление пропускания анализатора и поляризатора совпадают, луч света на выходе из анализатора имеет максимальную интенсивность. При произвольном угле α между направлениями анализатора и поляризатора (см.рис.53) амплитуда световых колебаний, выхо-

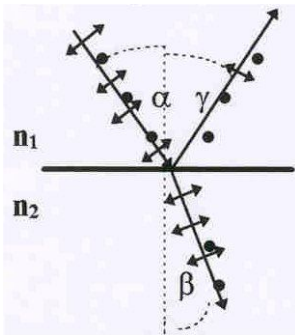
дящих из анализатора $E_A = E_{\Pi} \cos \alpha$, где E_{Π} – амплитуда колебаний на выходе из поляризатора. В электромагнитной волне плотность энергии (интенсивность) пропорциональна квадрату амплитуды колебаний E , т.е. $I_{\Pi} \sim E_{\Pi}^2$ и $I_A \sim E_A^2$. На основании этого получаем:

$$I_A = I_{\Pi} \cos^2 \alpha.$$

Это соотношение называется **законом Малюса**.

2) Закон Брюстера.

Простейшим приспособлением для поляризации света может служить прозрачное диэлектрическое зеркало. Пусть на диэлектрик падает луч естественного све-



та. Обозначим через n_2 коэффициент преломления диэлектрика, а через n_1 – коэффициент преломления среды, откуда падает свет (α - угол падения, β - угол преломления). В естественном свете равновероятны все направления колебаний E , что изображается в виде того, что количество точек и черточек одинаково.

Опыт показывает, что отраженный и преломленный лучи становятся частично поляризованными, причем в отраженном свете преобладающими становятся колебания, плоскость которых перпендикулярна плоскости чертежа, а в преломленном предпочтительнее оказываются направления колебаний в плоскости чертежа. Существует угол падения, при котором отраженные лучи становятся полностью поляризованными. Этот угол называется углом Брюстера, его значение связано с отношением $n_2/n_1 = n_{21}$, т.е. относительным показателем преломления:

$$\operatorname{tg} \alpha = n_{21}.$$

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

ТЕМА: Теория теплового излучения.

1) Экспериментальное обоснование основных идей квантовой теории.

Противоречия классической физики. Большое количество оптических явлений объясняется тем, что внутри атомов и молекул имеются электроны, совершающие колебания и испускающие свет той же самой частоты η , с какой они колеблются сами. Это предположение подтверждается выводами из классической электродинамики, что электроны, движущиеся с ускорением излучают электромагнитные волны. Примеры излучения электрона, движущегося ускорено: 1. Тормозное излучение электроном сплошного спектра в рентгеновском диапазоне, возникающие при остановке электрона. 2) Излучение в бетатронах и синхротронах. В этих приборах электрон, двигаясь под влиянием вихревого электрического поля по окружности с энергией в $7 \cdot 10^7$ эВ излучает в видимом диапазоне.

Приведенные примеры указывают на совпадение выводов из классической электродинамики с опытными данными. Однако, наряду с этим, по мере развития физики стали накапливаться и такие факты, которые не согласовывались ни с классической теорией излучения, ни с волновыми представлениями о природе света. Первое явное несоответствие выводов из классической теории излучения с экспериментальными данными обнаружилось при изучении распределения энергии по длинам волн в спектре абсолютно черного тела. В качестве второго примера, указывающего на неприменимость классической теории излучения, это тормозное рентгеновское излучение. Опыт показывает, что кривые распределения энергии в сплошном спектре рентгеновских лучей имеет красную границу со стороны коротких длин волн, положение которой зависит от скорости ударяющихся об антикатод электронов и не зависит от материала антикатада. Эти опытные факты внутренней удалось объяснить только гипотезой Планка об облучении энергии квантами $\epsilon = h\nu$.

Проблемы теплового излучения. Самым распространенным в природе является тепловое излучение, т.е. испускание электромагнитных волн за счет внутренней энергии. Все остальные виды свечения, возбуждаемые за счет любого вида энергий, (кроме внутренней), объединяются под общим названием «люминесценция».

Тепловое излучение рассматривается для тел нагретых до различной температуры и помещенных в полость с идеально отражающими внутренними стенками. Если внутри полости будет вакуум, тела будут обмениваться между собой энергией посредством излучения. При этом излучение каждого тела зависит только от собственной температуры, а не от температуры окружающих тел, более теплые тела будут излучать больше, чем поглощать, а менее нагретые тела будут больше поглощать, чем излучать. Поскольку электромагнитные волны распространяются с конечной скоростью, то пространство внутри полости будет всегда заполнено энергией излучения. Опыт показывает, что обязательно установится стационарное состояние или равновесие, при котором все тела приобретают одинаковую температуру, т.е. поглощают в единицу времени ровно столько энергии, сколько отдают ее, а плотность излучения в пространстве между ними достигает некоторой определенной величины, соответствующей данной температуре. Этот факт является совершенно необъяснимым с позиций классической физики.

Абсолютно черное тело. Тело, которое полностью поглощает при любых температурах электромагнитное излучение любого состава, называют абсолютно черным. Для него поглощательная способность равна единице, независимо от температуры.

Свойства: а) все абсолютно черные тела при данной температуре обладают одним и тем же распределением излучаемой энергии по длинам волн; б) светимость всех абсолютно черных тел одинаково меняется с температурой.

В природе не существует тел, совпадающих по своим свойствам с абсолютно черным.

Модель абсолютно черного тела. Длинная и узкая трубка из тугоплавкого материала. Внутри трубки, для избежания однократных отражений при косых попадания света, делается ряд перегородок с отверстиями.

Трубка вставляется внутрь электрической печки, с помощью которой ее стенки могут быть прогреты до необходимой температуры T .

2) Законы теплового излучения.

Первый крупный шаг в теоретическом исследовании свойств равновесного излучения был сделан Кирхгофом, который термодинамическим путем показал, что при постоянной температуре излучательная способность черного тела r_λ есть определенная функция от длины волны и температуры.

Из термодинамических рассмотрений можно установить ряд общих законов излучения абсолютно черного тела.

Первый закон. (Закон Стефана-Больцмана) Интегральная энергетическая светимость абсолютно черного тела R , возрастает пропорционально четвертой степени абсолютной температуры тела: $R = \int_0^{\infty} r_{\lambda} d\lambda = \sigma T^4$, где σ - постоянная Стефана-Больцмана.

Второй закон (закон смещения Вина): Длина волны λ_{\max} , на которую приходится максимум излучательной способности меняется обратно пропорционально абсолютной температуре:

$$\lambda_{\max} = b/T,$$

Третий закон: Максимальная излучательная способность абсолютно черного тела возрастает пропорционально пятой степени абсолютной температуры:

$$r_{\lambda_{\max}} = CT^5$$

Эти три закона не решили задачу об отыскании математического выражения закона распределения энергии в спектре абсолютно черного тела.

3) Гипотеза Планка.

Для объяснения излучения абсолютно черного тела Планк выдвинул гипотезу, коренным образом противоречащую классической физике, а именно – энергия микроскопической системы (атомы и молекулы) может принимать только определенные дискретные значения. Планк полагал, что центры излучения можно моделировать линейными гармоническими осцилляторами, которые могут обмениваться энергией с окружающим электромагнитным полем. Формулировка гипотезы Планка: Осцилляторы могут находиться только в некоторых избранных состояниях, в которых их энергия является целым кратным наименьшего количества энергии ε_0 : $\varepsilon_0, 2\varepsilon_0, \dots, n\varepsilon_0, \dots$, где $\varepsilon_0 = h\nu$ - квант энергии, здесь ν - частота колебаний осциллятора, h – постоянная Планка.

На основании этой гипотезы Планк вывел формулу для объяснения спектральной плотности излучения $r_{\nu T} = \frac{\hbar \omega^3}{4\pi^2 c^2} \cdot \frac{1}{e^{\hbar\omega/kT} - 1}$. Формула Планка дает исчерпывающее описание равновесного теплового излучения.

Световые кванты. Рассматривая случайные флуктуации плотности излучения Эйнштейн, пользуясь статистической термодинамикой и формулой Вина для плотности излучения справедливой для высоких частот

$$r_\nu d\nu = \frac{8\pi h \nu^3}{c^2} e^{-\frac{h\nu}{kT}} d\nu$$

нашел, что излучение с достаточно короткими длинами волн ведет себя так, как если бы оно состояло из $n = E/h\nu$ независимых корпускул, или квантов света, которые называли фотонами.

ТЕМА: Квантовые свойства света.

1) Законы фотоэффекта.

Фотоэлектрическим эффектом называется испускание электронов веществом под действием света. Открыл Г.Герц в 1887 г. Исследования А.Г. Столетова фототока в зависимости от приложенной разницы потенциалов между электродами. Выводы: 1) Наибольшее действие оказывают ультрафиолетовые лучи; 2) Сила тока возрастает с увеличением освещенности пластины; 3) Испускаемые под действием света частицы имеют отрицательный заряд. Для обращения фототока в нуль нужно приложить задерживающее напряжение.

В 1905 г. Эйнштейн показал, что все закономерности фотоэффекта объясняются излучением и поглощением света квантами. Закон сохранения энергии для фотоэффекта: энергия поглощенного кванта расходуется на совершение работы выхода электрона из металла и придания электрону кинетической энергии. Существует красная граница фотоэффекта. $h\nu = A + eV = A + mv^2/2$.

Опыт Боте подтвердил существование фотонов. Энергия и импульс фотона. Давление света. Отраженный фотон сообщает стенке импульс $2p$. Опыты Иоффе и Добронравова подтверждают корпускулярные свойства света.

2) Эффект Комптона.

В 1923 г. Комптон, исследуя рассеяние рентгеновских лучей различными веществами обнаружил, что в рассеянных лучах наряду с первоначальной длиной волны содержатся лучи большей длины волны. $\lambda - \lambda_0 = \Delta\lambda = \lambda_c(1 - \cos\varphi)$. В эффекте Комптона отчетливо проявляются корпускулярные свойства электромагнитного излучения. Выполняются законы сохранения энергии и импульса для упругого столкновения рентгеновского фотона и свободного электрона. Электроны отдачи. Комптоновская длина волны. Единство корпускулярных и

волновых свойств электромагнитного излучения. Длинноволновое излучение проявляет более волновые свойства, а коротковолновое – корпускулярные.

3) Правило частот Бора.

Ядерная модель атома в сочетании с классической механикой и электродинамикой оказавшись неспособными объяснить ни устойчивость атома, ни характер атомного спектра. Выход их создавшегося тупика был найден в 1913 г. Бором, введением предположений противоречащих классическим представлениям. Допущения, сделанные Бором содержатся в двух высказанных им постулатах.

- Из бесконечного множества электронных орбит, возможных с точки зрения классической механики, осуществляются в действительности только некоторые дискретные орбиты, удовлетворяющие определенным квантовым условиям. Электрон, находящийся на одной из этих орбит, несмотря на движение с ускорением, не излучает электромагнитных волн.
- Электромагнитные волны излучаются или поглощаются в виде светового кванта энергии $h\nu$ при переходе электрона из одного стационарного состояния в другое. Величина светового кванта равна разности энергий тех стационарных состояний, между которыми совершается квантовый скачок электрона: $h\nu = E_n - E_m$.

Существование дискретных энергетических уровней атома подтверждается опытами Франка и Герца по упругому и неупругому взаимодействию электронов с атомами паров ртути.

3) Гипотеза де-Бройля.

В 1924 г. де-Бройль выдвинул гипотезу, что дуализм не является особенностью одних только оптических явлений, а имеет универсальное значение. » В оптике – писал он, - в течение столетия слишком пренебрегали корпускулярным способом рассмотрения по сравнению с волновым; не делалось ли в теории вещества обратная ошибка?» Допуская, что частицы вещества наряду с корпускулярными свойствами имеют также и волновые, де-Бройль применил для частиц вещества те же правила перехода от одной картины к другой, как и в случае света: фото обладает энергией $E = h\nu$ и импульсом $p = h/\lambda$; движение частиц связано с волновым процессом. Частица обладает длиной волны $\lambda = h/mv$ и частотой $\nu = E/h$. Экспериментальное подтверждение гипотезы де-Бройля было получено в опытах Девиссона и Джермена в 1927 г. по отражению электронов

от монокристалла никеля. Было получено блестящее совпадение длины волны вычисленной и измеренной в опыте по брегговскому отражению. В опытах Томсона и независимо от него Тартаковского получена дифракционная картина при прохождении электронного пучка через металлическую фольгу.

4) Микрочастица в двухщелевом интерферометре.

Микрочастицами называют элементарные частицы (электроны, протоны, нейтроны, фотоны и др.), а также сложные частицы, образованные из сравнительно небольшого числа элементарных частиц (молекулы, атомы, ядра атомов и др.). Своеобразие свойств микрочастиц отчетливее всего обнаруживается следующим мысленном эксперименте. Направим на преграду с двумя узкими щелями параллельный пучок моноэнергетических электронов. За преградой поставим фотопластинку. Картина почернения фотопластинки оказывается аналогичной картине, получающейся при интерференции двух когерентных световых волн. Характер картины свидетельствует о том, что при движении каждого электрона оказывают влияние оба отверстия. Такой вывод не совместим с представлениями о траекториях. Явление же дифракции доказывает, что в прохождении каждого электрона участвуют оба отверстия.

5) Соотношения неопределенностей Гейзенберга.

В 1927 г. Гейзенберг установил соотношение неопределенностей, раскрывающее существенную особенность квантовомеханической теории. Это соотношение для каждой пары координата-импульс имеет вид $\Delta p_x \Delta x \geq \hbar/2$, $\Delta p_y \Delta y \geq \hbar/2$, $\Delta p_z \Delta z \geq \hbar/2$, и для энергии-время $\Delta E \Delta t \geq \hbar/2$.

б) Границы применимости классической механики.

Соотношение неопределенности указывает, в какой мере можно пользоваться понятиями классической механики применительно к микрочастицам, в частности, с какой степенью точности можно говорить о траекториях микрочастиц. $\Delta x \Delta v_x \geq \hbar/2m$.

Сами понятия координаты и импульса заимствованы из классической физики. Ими можно пользоваться и при квантовомеханическом описании, однако соотношение неопределенностей накладывает при этом существенные ограничения, указывают пределы применимости классических представлений при описании атомных явлений.

ТЕМА: Квантовые состояния.

1) Состояние микрочастицы в квантовой механике: волновая функция и ее статистические смысл.

В классической механике состояние частицы задается координатой, траекторией и импульсом в данный момент времени, т.е. только корпускулярными характеристиками. В квантовой механике учитываются волновые свойства, и поэтому состояние частицы задается волновой функцией. В 1926 г. Шредингер сопоставил движению микрочастицы комплексную волновую функцию координат и времени, обозначив ее греческой буквой Ψ - пси.

$$\Psi(x,y,z,t) = \Psi(x,y,z)\exp-iEt/\hbar.$$

Пси-функция характеризует состояние микрочастицы и представляет собой волну вероятности. Поэтому, квантовомеханическое описание явлений носит статистический характер. $\Psi\Psi^*dv$ – есть вероятность нахождения частицы в объеме $dv = dx \cdot dy \cdot dz$, т.е. в области с координатами x и $x+dx$, y и $y+dy$, z и $z + dz$. В общем случае: квадрат модуля комплексной функции Ψ есть плотность вероятности найти частицу в объеме dv около точки с координатами x,y,z . Ус-

ловие нормировки $\int_{-\infty}^{+\infty} \Psi\Psi^* dv = 1$

2) Суперпозиция состояний.

В квантовой механике вводится понятие квантовых ансамблей, объединяющих совокупность тождественных квантовых состояний, описываемых одной и той же волновой функцией Ψ . С помощью квантового ансамбля можно описать электронный пучок, поток фотонов и т.д. Характерным отличием квантового ансамбля от классического является его когерентность, связанная с принципом суперпозиции. Допустим, что частицы имеют определенное распределение по различным квантовым состояниям: $|C_{n1}|^2 = N_{n1}$, $|C_{n2}|^2 = N_{n2}$, $|C_{n3}|^2 = N_{n3} \dots$, причем $\sum_i N_{ni} = N$. В последнем случае движение частиц, находящихся, например, в состояниях $n = n_1$ и $n = n_2$ нельзя рассматривать независимо друг от друга, потому что, если возможны состояния Ψ_{n1} и Ψ_{n2} , то общая волновая функция линейного уравнения Шредингера будет представлять собой суперпозицию (наложение) отдельных состояний, т.е. $\Psi(t) = C_{n1}\Psi_{n1}(t) + C_{n2}\Psi_{n2}(t) + \dots$

Это существенно при определении полной вероятности состояния, пропорциональной произведению $\Psi(t)\Psi^*(t)$. В этом произведении наряду с $\Psi_{n1}(t)\Psi_{n1}^*(t)$ должны появляться также и смешанные члены вида $\Psi_{n2}(t)\Psi_{n1}^*(t)$; или каждая частица будет обладать определенной вероятностью нахождения в обоих квантовых состояниях. Наличие смешанных членов, которые будут отличны от нуля для когерентных Ψ -волн (чистый ансамбль), ведет к интерференции де-бройлевских волн, что не имеет места для некогерентных волн (смешанный ансамбль), т.е. в чистом ансамбле складываются волны, а в смешанном – интенсивности. Исследование квантовых ансамблей дает статистическую интерпретацию результатов волновой теории. Суперпозиция состояний определяется не только модулями коэффициентов c_i но и их относительными фазами, поэтому она означает интерференцию состояний Ψ_i . Возможность такой интерференции проявляется в дифракции микрочастиц в двухщелевом интерферометре. Суперпозиция состояний отражает волновую природу микрочастиц.

3) Уравнение Шредингера. Временное уравнение Шредингера.

Временное уравнение Шредингера, описывающие состояния, меняющиеся со временем, имеет вид $i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \Psi + U\Psi$,

m – масса частицы, i – мнимая единица, ∇^2 оператор Лапласа.

$$\nabla^2 \Psi = \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} ,$$

U – потенциальная энергия частицы.

Это уравнение, являющееся относительно времени t линейным дифференциальным уравнением первого порядка, отражает принцип причинности. С помощью этого уравнения можно, зная состояние $\Psi(0)$ в начальный момент времени, определить волновую функцию в любой последующий момент времени.

4) Стационарное уравнение Шредингера.

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + U\psi = E\psi ,$$

здесь E – полная энергия частицы.

Э. Шредингер получил эти уравнения в 1926 г. на основе опико-механической аналогии. Уравнение Шредингера позволяет найти Ψ -функцию данного состояния и, следовательно, определить вероятность нахождения частицы в различных точках пространства.

5) Простейшие задачи квантовой механики.

Основные понятия.

- Стандартные условия – совокупность требований по отношению к Ψ -функции: она должна быть однозначной, непрерывной и конечной (за исключением особых точек), она должна иметь непрерывную и конечную производную.
- Собственные значения – избранные значения параметра E (полная энергия частицы), для которых уравнение Шредингера имеет решения, удовлетворяющие стандартным условиям.
- Собственные функции – решения, соответствующие собственным значениям E , называются собственными функциями.
- Совокупность собственных значений величины E называется ее *спектром*. Если совокупность собственных значений образует дискретную последовательность, то спектр называется *дискретным*. Если собственные значения образуют непрерывную последовательность, то *спектр* называется *сплошным*.
- Свободная частица – это одна частица, движущаяся в отсутствие действия сил в направлении движения, например, оси X . Уравнение Шредингера

$$\nabla^2 \psi + \frac{2m}{\hbar^2} E \psi = 0,$$

есть волновое уравнение для свободной микроскопической частицы. Величина $E = T$ – кинетическая энергия, т.к. $U = 0$. В этом случае уравнение Шредингера принимает вид $-\frac{\hbar^2}{2m} \cdot \frac{d^2 \psi}{dx^2} = E \psi$.

Частное решение этого уравнения: $\psi_{1,2} = e^{\pm \sqrt{\frac{2mE}{\hbar^2}} \cdot x}$.

Это решение удовлетворяет стандартным условиям конечности и непрерывности при всех положительных значениях $E > 0$. Таким образом, спектр собственных значений энергии *сплошной*. Собственные функции при сплошном спектре нельзя нормировать обычным способом.

Частица в одномерной прямоугольной, бесконечно глубокой потенциальной яме. Пусть микрочастицы находятся внутри прямоугольной потенциальной яме шириной l , с бесконечно высокими стенками.

Определим уровни энергии и волновую функцию, описывающую ее состояния. Рассматривается одномерный случай. Значение потенциальной энергии изменяется в зависимости от координаты частицы:

$$U(x) = \begin{cases} \infty & \text{при } l \leq x \leq 0 \\ 0 & \text{при } 0 \leq x \leq l \end{cases}.$$

Внутри ямы $U(x) = 0$. Уравнение Шредингера для одновременного движения, параллельно оси x :

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U)\psi = 0.$$

Введем обозначения $k^2 = \frac{2mE}{\hbar^2}$.

Тогда внутри ямы уравнение будет иметь вид $\frac{d^2\psi}{dx^2} + k^2\psi = 0$.

Используя граничные условия $\Psi(0) = 0$; $\Psi(l) = 0$, получим решение уравнения (собственные функции) $\psi_n = \sin n \frac{\pi x}{l}$ и собственные значения (значения энергии)

$$E_n = \frac{n^2 \pi^2 \hbar^2}{2ml^2}, \text{ где } n = 1, 2, 3, \dots$$

Отсюда следует, что энергия частицы принимает *дискретный (квантованный)* ряд значений. С уменьшением ширины ямы l интервал между соседними уровнями возрастает. Квантование энергии при этом проявляется в более сильной степени.

Туннельный эффект. Туннельный эффект рассматривается на примере прохождения частицы через потенциальный барьер. Пусть частица, движущаяся в положительном направлении оси X , встречает потенциальный барьер высоты U_0 и шириной l .

По классической механике поведение частицы имеет следующий характер. Если энергия частицы больше высоты барьера $E > U_0$, то частица проходит над барьером безприпятственно, лишь на участке $0 \leq x \leq l$ уменьшается скорость, но при $x > l$ снова принимает первоначальное значение. Если $E < U_0$, то частица отражается от барьера и летит в обратную сторону; сквозь барьер частица не проходит.

Согласно квантовой механике частица ведет себя иначе. Даже при $E > U_0$ частица имеет отличную от нуля вероятность отразиться от барьера. При $E < U_0$

имеется отличная от нуля вероятность проникнуть сквозь барьер и оказаться в области $X > l$.

Рассмотрим случай $E < U_0$. Для областей I и III уравнение Шредингера имеет вид $\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}E\psi = 0$.

Для области II

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{2m}{\hbar^2}(E - U)\psi = 0,$$

здесь $E - U_0 < 0$

При прохождении волны через барьер рассматриваются решения волнового уравнения для области I, II, III, которые подчиняются стандартным условиям: непрерывность функций и их первых производных на границах барьера. Из явного вида Ψ функции отраженной и падающей волн получим отношение

$$\frac{|B_1|^2}{|A_1|^2} = |b_1|^2 = R \text{ - коэффициент отражения.}$$

Отношение квадрата модулей амплитуд прошедшей и падающей волн $\frac{|A_3|^2}{|A_1|^2} = |a_3|^2 = D$ определяет вероятность прохождения частицы через барьер и называется коэффициентом прохождения или коэффициентом прозрачности. Коэффициенты R и D связаны соотношением $R + D = 1$.

Для коэффициента прозрачности с учетом высоты и ширины барьера получается выражение

$$D = \exp\left[-\frac{2}{\hbar}\sqrt{2m(U_0 - E)} \cdot l\right]$$

из которого следует, что вероятность прохождения частицы через потенциальный барьер сильно зависит от ширины барьера l и от превышения $(U_0 - E)$. Для потенциала произвольной формы коэффициент прозрачности имеет вид:

$$D = \exp\left[-\frac{2}{\hbar}\int_a^b \sqrt{2m(U_0 - E)} \cdot dx\right].$$

При преодолении потенциального барьера частица как бы проходит через «туннель» в этом барьере, поэтому это явление называется *туннельным эффектом*. Туннельный эффект используется в квантовой физике для объяснения ряда явлений. Туннельный эффект есть типичное проявление волновых свойств микрочастиц.

2.2. Учебные пособия

Для подготовки к *физическому практикуму* студенты используют учебно-методические пособия, в которых дается описание экспериментальных установок, методики проведения эксперимента, методов обработки экспериментальных данных, методов статистического анализа экспериментальных данных, а также содержится справочный материал.

1-й семестр. Раздел «Механика. Молекулярная физика»:

- Физический практикум. Механика, молекулярная физика : учеб.-метод. пособие: рек. ДВ РУМЦ/ АмГУ, ИФФ; сост. А. А. Согр, В. Ф. Ульянычева, О. В. Козачкова. – Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та, 2007.–91 с.

2-й семестр. Раздел «Электричество и магнетизм»:

- Лабораторный практикум по физике : учебн-метод. пособие: рек. ДВ РУМЦ/ АмГУ, ИФФ, сост. А.А. Согр, В.Ф. Ульянычева, И.Б. Копылова: под. ред. А.А. Согра. Т.2. : Электричество и магнетизм, Вып. 2 – 2007.–130 с.

3-й семестр

- Лабораторный практикум по физике : для студ. техн. спец. / АмГУ, ИФФ ; ред. А. А. Согр. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, Ч. 3 : Оптика, квантовая и атомная физика, Вып. 1. - 2002. - 80 с.

Указанные пособия содержатся в составе приложений настоящего УМКД.

2.3. Темы практических занятий с примерами упражнений и задач

Для организации и проведения практических занятий по дисциплине «Физика» используется учебное пособие: Волькенштейн В.С. Сборник задач по общему курсу физики : учеб. пособие для студ. техн. вузов/ В. Волькенштейн. –3-е изд., испр. и доп.. –СПб.: Книжный мир, 2005, 2004, 2003.–328 с.

1-й семестр

№	Тема	Задачи для аудиторных занятий*	Домашнее задание*
1.	Кинематика	1.6, 1.16, 1.19, 1.21, 1.42, 1.48	1.5, 1.18, 1.22, 1.45, 1.46
2.	Динамика частиц	2.1, 2.4, 2.96	2.5, 2.17, 2.98
3.	Динамика вращательного движения	3.8, 3.11, 3.14	3.10, 3.13, 3.15
4.	Законы сохранения импульса и энергии. Работа.	2.20, 2.22, 2.32 2.65, 3.19	2.23, 2.38, 2.62, 2.78, 2.20
5.	Закон сохранения момента импульса	3.32, 3.35, 3.36	3.33, 3.37, 3.38
6.	I начало термодинамики	5.156, 5.158, 5.160	5.157, 5.159, 5.161
7.	II начало термодинамики Тепловые машины. Цикл Карно	5.178, 5.181, 5.183	5.179, 5.182, 5.184
8.	Энтропия т/д систем	5.197, 5.201, 5.203	5.188, 5.200, 5.202

2-й семестр

№	Тема	Задачи для аудиторных занятий	Домашнее задание
1.	Напряженность. Принцип суперпозиции	9.20, 9.22, 9.43	9.18, 9.21, 9.23,
2.	Теорема Гаусса	9.35, 9.39, 9.42,	9.32, 9.37, 9.40
3.	Потенциал электростатич. поля. Разность потенциалов. Электроемкость.	9.56, 9.61, 9.96, 9.107	9.58, 9.62, 9.97, 9.122
4.	Постоянный ток	10.5, 10.14. 10.30, 10.58	10.9, 10.15, 10.34, 10.61
5.	Магнитное поле	11.3, 11.8, 11.10,	11.7, 11.17, 11.20
6.	Сила Ампера и Лоренца	11.52, 11.62, 11.73	11.46, 11.63, 11.74
7.	Явление эл/магнитной индукции	11.84, 11.85, 11.103, 11.111	11.88, 11.101, 11.110
8.	Колебания и волны	12.6, 12.20, 12.68, 14.5	12.7, 12.21, 12.67, 14.8

2.4. Сборники задач с методикой и вариантами их решения

Для освоения методики решения физических задач студентам предлагается использовать следующие пособия:

- Трофимова Т.И. Сборник задач по курсу физики с решениями : учеб. пособие: рек. Мин. обр. РФ/ Т. И. Трофимова. –8-е изд., перераб.–М.: Высш. шк., 2007.-592 с.
- Сборник задач по общему курсу физики: учеб. пособие/ АмГУ, ИФФ, сост. К.Г. Добросельский, А.Ю. Сетейкин. – Благовещенск : Изд.-во Амур. гос. ун-та. – Ч.2: Электричество и магнетизм. Колебания и волны. 2003.–18 с.
- Сборник задач по общему курсу физики. Часть III: Оптика. /Составители: Добросельский К.Г., Сетейкин А.Ю., Изд-во АмГУ, Благовещенск, 2003.

Указанные пособия содержатся в составе приложений настоящего УМКД.

2.5. Технические средства обучения, наглядные пособия

В учебном процессе используются лекционные демонстрации основных физических явлений, видеодемонстрации, видеофильмы и другие специальные и вспомогательные средства обучения. Общий перечень указанных средств дан в п.10 Рабочей программы (материально-техническое оснащение дисциплины).

Список видеодемонстраций, используемых в учебном процессе дан в приложении к УМКД.

2.6. Электронные обучающие средства

Компьютерная программа «Виртуальная лаборатория». Позволяет визуализировать труднонаблюдаемые физические явления и эффекты.

III. КОНТРОЛИРУЮЩИЙ РАЗДЕЛ

3.1. Вопросы для самоконтроля

Вопросы для самоконтроля и самопроверки используются студентами для подготовки к практическим занятиям и лабораторным работам, а также самопроверки готовности к экзаменам. Кроме того, такие вопросы могут быть использованы преподавателем для составления тестов с целью проверки текущей успеваемости студентов (например, во время практических занятий) или использоваться в качестве заданий и дополнительных вопросов на экзамене. Перечень вопросов для самопроверки и самоконтроля дан в «Рабочей программе», разделе 8 «Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов» (п.8.1).

3.2. Примерное содержание тестовых заданий для текущего и рубежного контроля

ВАРИАНТ 1

1. Точка движется по закону $\mathbf{r} = t^2 \mathbf{i} + 2t \mathbf{j} + (t^3 - 1)\mathbf{k}$. Это движение происходит под действием силы, которая параллельна...

Варианты ответа:

1. плоскости XOZ;
 2. плоскости YOZ;
 3. оси OX;
 4. плоскости XOY;
 5. оси OZ.
2. Каким способом может человек, стоящий на абсолютно гладком льду, покрывающем поверхность водоема, достигнуть берега?

Варианты ответа:

1. лечь и вращаться вокруг оси;
 2. перемещаться мелкими шагами;
 3. снять и бросить в сторону одежду;
 4. двигаться коньковым ходом;
 5. перекатываться с боку на бок.
3. Момент инерции тела зависит от...
- A. Распределения массы перпендикулярно оси вращения.
 - B. Распределения массы параллельно оси вращения.
 - B. Моменту силы.

- Г. Массы тела.
- Д. Формы тела.

Варианты ответа:

1. только от В и Г;
 2. только от А, Г и Д;
 3. только от А и Б;
 4. только от А и В;
 5. только от Б, В и Г.
4. Укажите условия сохранения момента импульса в системе:
- А. Замкнутость системы.
 - Б. Консервативность взаимодействий.
 - В. Неизменность скорости частиц.
 - Г. Постоянство массы частиц.

Варианты ответа:

1. только А и Б;
 2. только А;
 3. только А, Б и В;
 4. только Б;
 5. все эти условия.
5. Адиабатическими процессами являются:
- А. Процессы без теплообмена между системой и окружающей средой.
 - Б. Все быстро протекающие процессы.
 - В. Процессы, при которых работа над окружающими телами совершается за счет изменения внутренней энергии системы.
 - Г. Процессы, уравнения которых имеют вид $pV^\gamma = const$, где p - давление, V - объем, γ - коэффициент Пуассона.

Варианты ответа:

1. все эти процессы;
 2. только Б и В;
 3. А, Б и В;
 4. только А;
 5. только А и Б.
6. Клапан на велосипедной шине открыли на короткое время, выпуская воздух, а затем быстро закрыли. Остаток воздуха в шине...

Варианты ответа:

1. имеет температуру, большую температуры окружающей среды;
 2. имеет влажность, меньшую влажности окружающей среды;
 3. имеет температуру, меньшую температуры окружающей среды;
 4. стал плотнее, чем он был первоначально;
 5. имеет температуру, равную температуре окружающей среды.
7. В двух сосудах при комнатной температуре хранится по 1 моллю газа. В

первом сосуде газ состоит из одноатомных молекул, а во втором - из двухатомных. Каково отношение молярных теплоемкостей этих газов при постоянном объеме $C_v(1)/C_v(2)$?

Варианты ответа:

1. 3/5;
2. 5;
3. 2/1;
4. 1/1;
5. 5/3.

8. Удельная теплота плавления – это количество теплоты, которое требуется для...

Варианты ответа:

1. нагрева вещества до температуры плавления;
 2. превращения единицы вещества в жидкость при температуре плавления;
 3. превращения в жидкость одного килограмма любого вещества, первоначально находящегося при комнатной температуре;
 4. превращения в жидкость вещества при температуре плавления;
 5. среди перечисленных ответов нет правильного.
9. Частица может колебаться вдоль оси X под действием результирующей силы $F = -kx$ с амплитудой A и частотой ω , где k - положительная константа. В момент, когда $x = A/2$, скорость частицы будет равна:

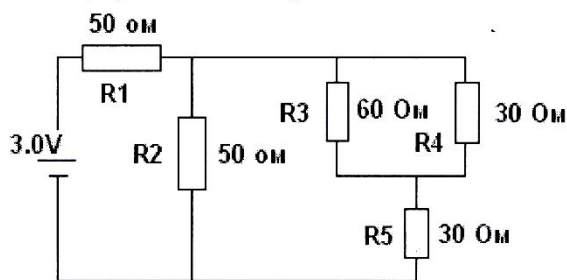
Варианты ответа:

1. $\omega \cdot A$;
2. $\sqrt{3} \cdot \omega \cdot A/2$;
3. $\sqrt{2} \cdot \omega \cdot A$;
4. $2 \cdot \omega \cdot A$;
5. $(1/3) \cdot \omega \cdot A$.

10. В цепи, показанной на рисунке, сопротивления даны в Омах, а батарея с э.д.с. $\varepsilon = 3\text{В}$ имеет пренебрежимо малое внутренне сопротивление. Паде-ние напряжения на сопротивлении R_4 равно

Варианты ответа:

1. 0,6В;
2. 1,2В;
3. 1,5В;
4. 3,0В;



5. 0,4В.

11. По длинному прямому проводу, лежащему недалеко от Вас в плоскости листа, слева направо течет ток. Между Вами и проводом в направлении течения тока движется электрон. Укажите верную комбинацию направлений вектора магнитной индукции в месте нахождения электрона и силы, действующей на этот электрон.

Варианты ответа:

Вектор магнитной индукции	Сила
1. вниз от плоскости листа	от провода
2. вверх от плоскости листа	от провода
3. вверх от плоскости листа	к проводу
4. к Вам	вдоль провода
5. от Вас	к проводу

12. Электрическая проводимость большинства металлов уменьшается с увеличением температуры вследствие:

Варианты ответа:

- увеличения числа столкновений электронов с колебаниями решетки
- уменьшения числа столкновений электронов с вакансиями, которые становятся более упорядоченными при увеличении температуры
- увеличения числа столкновений электронов с примесями
- термической активации доноров и акцепторов внутри зоны проводимости
- уменьшения числа носителей зарядов из-за занятия вакантных состояний в зоне проводимости

13. Если хотя бы один виток обмотки трансформатора замкнется накоротко, то трансформатор начнет сильно греться и может выйти из строя. Какие факторы связаны с этим явлением?

- Возникающая в замкнутом витке ЭДС создает большой ток в этом витке.
- Сопротивление замкнутого витка много меньше сопротивления нагрузки трансформатора.
- Выделяющаяся в проводнике теплота пропорциональна квадрату силы тока.
- Рассеиваемая трансформатором энергия обратно пропорциональна числу витков.

Варианты ответа:

- все факторы;
- только А и Г;
- только А и В;
- А, Б и В;
- только А и Б.

14. Воздушный конденсатор с параллельными пластинами заряжен, а затем

отсоединен от батареи. Уменьшение расстояния между пластинами конденсатора приведет:

Варианты ответа:

1. к уменьшению напряжения между пластинами;
2. к увеличению заряда на пластинах конденсатора;
3. не повлияет на заряд и напряжение конденсатора;
4. к увеличению напряжения между пластинами;
5. к уменьшению заряда на пластинах конденсатора.

15. Провод без изоляции согнули пополам и скрутили. Как изменилось его сопротивление?

Варианты ответа:

1. уменьшилось в 2 раза;
2. не изменилось;
3. увеличилось в 2 раза;
4. уменьшилось в 4 раза;
5. увеличилось в 4 раза.

16. Магнитная индукция B длинного прямолинейного проводника с током I на расстоянии r пропорциональна...

Варианты ответа:

1. I/r ;
2. $I \cdot r$;
3. I ;
4. $I \cdot r^2$;
5. I/r^2 .

17. Какие из приведенных ниже утверждений относятся к плоскополяризованному свету?

- А. Свет распространяется только в одном направлении.
- Б. Световая волна поперечная.
- В. Вектор E имеет одну ориентацию.
- Г. Вектор H имеет одну ориентацию.
- Д. Световые лучи распространяются во взаимно перпендикулярных направлениях.

Варианты ответа:

1. только В и Г;
2. только Б и Г;
3. только А и В;
4. только В и Д;
5. только Б и В.

18. Что общего и в чем различия фотоэффекта и эффекта Комптона?

- А. В обоих эффектах происходит взаимодействие фотона с электроном.

- Б. В эффекте Комптона происходит рассеяние фотонов на электроны.
- В. В фотоэффекте происходит поглощение фотонов.
- Г. Эффект Комптона наблюдается в видимом диапазоне электромагнитного спектра.
- Д. Фотоэффект наблюдается для всех длин электромагнитных волн.

Варианты ответа:

- 1. А, В и Д;
 - 2. Б, В и Г;
 - 3. А, Б и В;
 - 4. В, Г и Д;
 - 5. Б, Г и Д.
- 19.** Свет длиной волны 500 нанометров падает перпендикулярно на дифракционную решетку, имеющую 2000 штрихов на один сантиметр. Значение угла, на котором наблюдается дифракционный максимум первого порядка, наиболее близко к:

Варианты ответа:

- 1. 0,15;
 - 2. 0,25;
 - 3. 0,10;
 - 4. 0,05;
 - 5. 0,20.
- 20.** Световые волны могут быть поляризованы, а звуковые волны в газе – нет. Укажите наилучшее объяснение этому факту.

Варианты ответа:

- 1. световые волны поперечные, тогда как звуковые волны продольные;
 - 2. для световых волн наблюдается эффект Доплера, а для звуковых нет;
 - 3. световые волны имеют более высокую частоту, чем звуковые;
 - 4. световые волны распространяются при более высоких скоростях, чем звуковые;
 - 5. световые волны имеют более короткую длину волны, чем звуковые.
- 21.** Какие факторы влияют на величину угла поворота плоскости поляризации света, проходящего через раствор оптически активного вещества?
- А. Концентрация раствора.
 - Б. Длина волны света.
 - В. Длина пути в растворе.
 - Г. Интенсивность света.
 - Д. Химический состав раствора.

Варианты ответа:

- 1. все эти факторы;
- 2. только А и В;
- 3. только А и Б;

4. только В и Г;
 5. только А, Б и В;
- 22.** Какая из указанных частиц, если они все движутся с одинаковой скоростью, обладает наибольшей длиной волны де Бройля?

Варианты ответа:

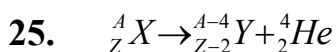
1. протон;
 2. нейтрон;
 3. позитрон;
 4. длина волны у всех перечисленных частиц одинакова;
 5. альфа – частица.
- 23.** Укажите верное утверждение. Ширина запрещенной зоны у полупроводника...

Варианты ответа:

1. меньше, чем у диэлектрика;
 2. больше, чем у диэлектрика;
 3. увеличивается при нагревании;
 4. на 2 порядка больше, чем у диэлектрика;
 5. такая же, как у диэлектрика.
- 24.** Укажите неверное утверждение:

Варианты ответа:

1. эффект Комптона можно наблюдать при рассеянии видимого света;
2. в теории эффекта Комптона взаимодействие фотона и электрона рассматривается как упругий удар;
3. при комптоновском рассеянии появляются электроны отдачи;
4. изменение длины волны при комптоновском рассеянии зависит только от угла рассеяния;
5. в эффекте Комптона наибольший угол рассеяния π .



Приведенное превращение характеризует...

Варианты ответа:

1. электронный захват;
2. бета-минус – распад;
3. бета-плюс – распад;
4. ядерную реакцию;
5. альфа – распад.

ВАРИАНТ 2

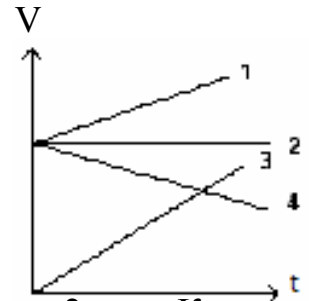
1. Пятикилограммовый камень падает на гвоздь и забивает его на глубину 0,025 метра в дерево. Если камень в момент удара о гвоздь двигался со скоростью 10 метров в секунду, то средняя сила, действующая на гвоздь со стороны камня, когда гвоздь входит в дерево, наиболее близка к значению:

Варианты ответа:

1. 100000 Н;
 2. 10000 Н;
 3. 1000 Н;
 4. 10 Н;
 5. 100 Н.
2. Задан график зависимости скорости тела от времени. Тело 1 движется...

Варианты ответа:

1. равнозамедленно ;
 2. равноускоренно из состояния покоя;
 3. равномерно;
 4. с переменным ускорением;
 5. равноускоренно с начальной скоростью.
3. Приведенную длину физического маятника увеличили в 2 раза. Как изменилась частота колебаний маятника?



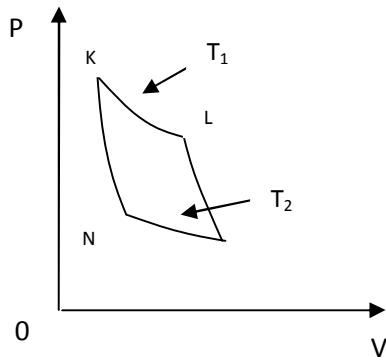
Варианты ответа:

1. увеличилась в $\sqrt{2}$ раз;
 2. уменьшился в $\sqrt{2}$ раз;
 3. уменьшилась в 2 раза;
 4. увеличилась в 2 раза;
 5. увеличилась в 4 раза.
4. Укажите условия сохранения момента импульса в системе:
- А. Замкнутость системы.
 - Б. Консервативность взаимодействий.
 - В. Неизменность скорости частиц.
 - Г. Постоянство массы частиц.

Варианты ответа:

6. только А и Б;
7. только А;
8. только А, Б и В;
9. только Б;
10. все эти условия.

5. Для кругового процесса, изображенного на рисунке, KL и MN – изотермы, а KN и LM – адиабаты.



Система совершает цикл Карно KLMN, получая количество теплоты Q_1 от нагревателя при температуре T_1 и отдавая количество теплоты Q_2 холодильнику при температуре T_2 . Все следующие утверждения верны за исключением:

Варианты ответа:

1. к.п.д цикла не зависит от природы рабочего тела;
 2. энтропия системы возрастает;
 3. выполненная работа равна $Q_1 - Q_2$;
 4. энтропия нагревателя уменьшается;
 5. $Q_1/T_1 = Q_2/T_2$.
6. Удельная теплоемкость идеального газа при постоянном давлении C_p больше, чем удельная теплоемкость при постоянном объеме C_v из-за того, что:

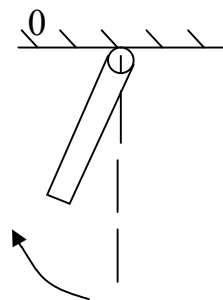
Варианты ответа:

1. необходимое количество теплоты при постоянном объеме больше, чем при постоянном давлении;
 2. увеличение внутренней энергии газа при постоянном давлении больше, чем при постоянном объеме;
 3. количество теплоты, подводимое для нагревания на один градус, одинаково как для процессов, в которых остается постоянным давление, так и для процессов, в которых остается постоянным объем;
 4. при $p = \text{const}$ нагреваемый газ расширяется и часть подводимой теплоты расходуется на совершение работы над внешними телами;
 5. давление газа остается постоянным, когда его температура остается постоянной.
7. Как изменится концентрация идеального газа в зависимости от температуры при изобарическом процессе?

Варианты ответа:

1. убывает обратно пропорционально T ;
2. линейно возрастает;
3. линейно убывает;
4. возрастает пропорционально T^2 ;
5. убывает обратно пропорционально T^2 .

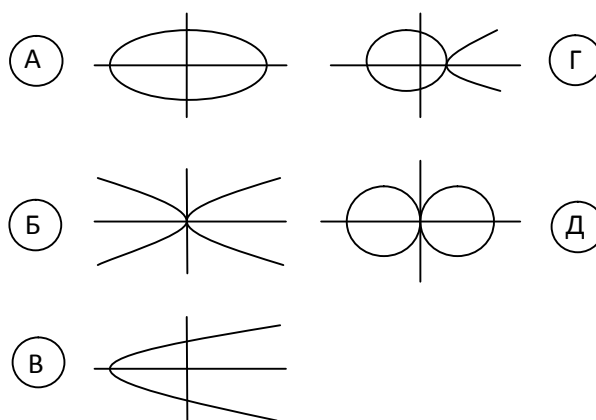
8. На рисунке показан стержень, совершающий колебательное движение. Как направлен момент силы тяжести относительно т. О?



Варианты ответа:

1. к нам;
 2. вниз;
 3. от нас;
 4. влево;
 5. вверх.
4. На рисунках показаны поперечные стоячие волны, которые могут возникнуть в упругом стержне. Какие стоячие волны могут возникнуть в стержне с обоими закрепленными концами?

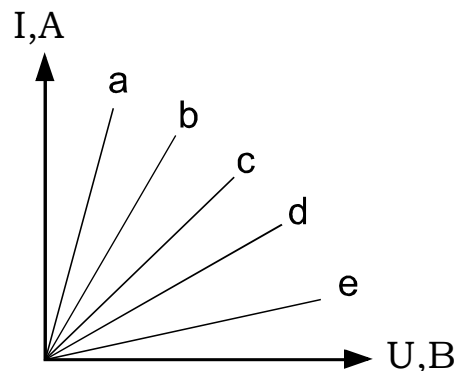
Варианты ответа:



1. В и Г;
 2. Б, Г и Д;
 3. А и Д;
 4. А, Б и В;
 5. Б и Д.
10. Как изменяются электрические сопротивления металлов и полупроводников при повышении температуры?

Варианты ответа:

1. увеличивается у металлов и полупроводников;
 2. уменьшается у металлов и полупроводников;
 3. увеличивается у металлов, уменьшается у полупроводников;
 4. уменьшается у металлов и увеличивается у полупроводников;
 5. не изменяется ни у металлов, ни у полупроводников.
11. На рисунке приведены вольт-амперные характеристики участков цепи с разными сопротивлениями. Какая линия соответствует участку с наибольшим сопротивлением?



Варианты ответа:

1. a;
2. b;

3. с;
4. d;
5. e;

12. Плоский конденсатор между обкладками содержит диэлектрик. Конденсатор подключили к источнику напряжения, а затем удалили диэлектрик. Что при этом произошло?

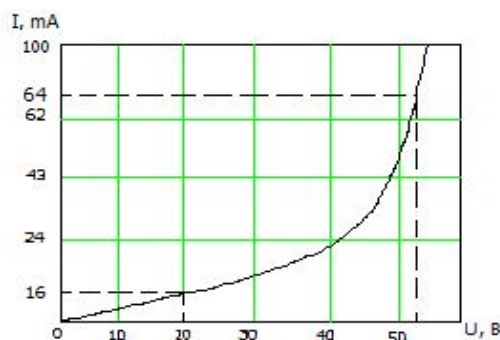
- А. Напряжение на обкладках уменьшилось.
- Б. Емкость конденсатора уменьшилась.
- В. Напряженность поля увеличилась.
- Г. Заряд на обкладках уменьшился.

Варианты ответа:

1. А, Б, В и Г;
2. только В и Г;
3. только А и Б;
4. Б, В и Г;
5. только Б и Г.

13. На рисунке показана вольт-амперная характеристика некоторой цепи.

Чему примерно равна мощность, потребляемая цепью, при напряжении 30В?



Варианты ответа:

1. 1.0 Вт;
2. 1000 Вт;
3. 30 Вт;
4. 0.35 Вт;
5. 3.0 Вт.

14. Отрицательный заряд движется вблизи длинного прямого провода, по которому течет электрический ток. На заряд будет действовать сила, направленная к проводу, если заряд движется в направлении:

Варианты ответа:

1. от провода;
2. противоположном току;
3. совпадающем с вектором магнитной индукции магнитного поля провода;
4. по направлению тока;
5. к проводу.

15. У длинной однослойной катушки убрали $1/3$ витков. В результате коэффициент самоиндукции катушки:

Варианты ответа:

1. увеличился в 1.50 раза;
2. уменьшился в 2.25 раза;

3. уменьшился в 1.50 раза;
4. не изменился;
5. увеличился в 2.25 раза.

16. Укажите факторы, влияющие на то, что нить лампы накаливания чаще всего перегорает при накаливании.

- А. С течением времени из-за испарения вольфрама уменьшается сечение нити.
- Б. У холодной нити сопротивление меньше и по ней проходит большой ток.
- В. Теплота, выделяющаяся в проводнике при неизменном напряжении, пропорциональна силе тока.
- Г. При включении происходит скачок напряжения на нити.

Варианты ответа:

1. только А и Б;
2. только А;
3. только Б и В;
4. только А и В;
5. только Б.

17. Электрический потенциал на поверхности куба постоянен и равен U . Если внутри куба нет зарядов, то потенциал в его центре равен:

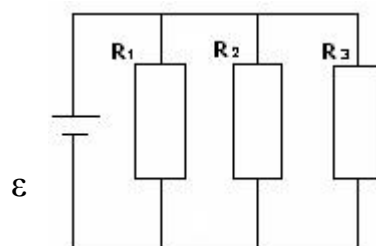
Варианты ответа:

1. 0;
2. U ;
3. $U/6$;
4. $U/2$;
5. $U/8$.

18. На каком из сопротивлений наибольшая мощность, если $R_1 > R_2 > R_3$?

Варианты ответа:

1. на всех одинаковая;
2. для ответа недостаточно данных;
3. на R_1 ;
4. на R_2 ;
5. на R_3 .



19. Что происходит за анализатором при его вращении вокруг направления распространения плоско-поляризованного луча?

- А. Интенсивность света не меняется.
- Б. Изменяется ориентация плоскости колебаний света, выходящего из анализатора.

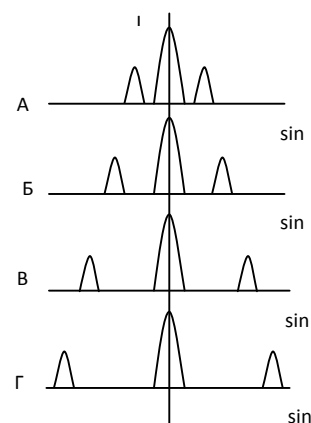
- В. Интенсивность света меняется в пределах от J_{\min} до J_{\max} .
 Г. За анализатором $J=J_0\cos^2\varphi$.

Варианты ответа:

1. Б и Г;
 2. А и Г;
 3. Б и В;
 4. А и Б;
 5. В и Г.
- 20.** Имеются 4 решетки с различными постоянными, освещаемые одним и тем же монохроматическим излучением. Какой рисунок иллюстрирует положение главных максимумов, создаваемых решеткой с наименьшей постоянной d ?

Варианты ответа:

1. Г;
2. А;
3. для ответа недостаточно информации;
4. Б;
5. В.



- 21.** Как изменится интерференционная картина на экране, если источники света S_1 и S_2 будут испускать свет с меньшей длиной волны?

Варианты ответа:

1. увеличится ширина интерференционных полос;
 2. уменьшится интенсивность полос;
 3. нет верного ответа;
 4. увеличится интенсивность полос;
 5. уменьшится ширина интерференционных полос.
- 22.** Если a – есть поглощательная способность поверхности для солнечного света, а r – испускательная способность этой поверхности, то для того, чтобы относительно мало нагревается на солнечном свету, поверхность должна иметь:

Варианты ответа:

1. малое значение (a/r) ;
 2. значение $(ar)=1$;
 3. большое значение (ar) ;
 4. большое значение (a/r) ;
 5. малое значение (ar) .
- 23.** Соотношение неопределенностей Гейзенберга указывает на:

- А. Несовершенство измерительных приборов.
- Б. Границу применимости классических понятий.
- В. Отсутствие причинности в микромире.
- Г. Наличие волновых свойств у частиц.

Варианты ответа:

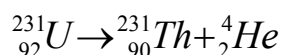
1. только Б и Г;
2. только В и Г;
3. верны все утверждения;
4. только А и Б;
5. только А и В.

24. В атоме орбитальное квантовое число L может принимать значения:

Варианты ответа:

1. $\pm 1/2$;
2. 1, 2, 3, ...
3. 0, ± 1 , ± 2 ,, ± 1 ;
4. 0, 1, 2,, $n-1$;
5. ± 1 , ± 2 , ± 3 .

25. Покоящееся ядро урана испускает ядро гелия, превращаясь в ядро тория.



Какое из следующих утверждений верно?

Варианты ответа:

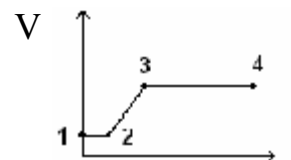
1. оба продукта распада имеют одинаковую кинетическую энергию;
2. оба продукта распада имеют одинаковую скорость;
3. ядро гелия имеет большую кинетическую энергию, чем ядро тория;
4. ядро тория имеет больший импульс, чем ядро гелия;
5. продукты распада движутся в одном направлении.

ВАРИАНТ 3

1. На рисунке представлена зависимость скорости движущегося тела от времени. На каких участках действующие на тело силы уравновешены?

Варианты ответа:

1. только на участке 1-2;
2. на участке 2-3;
3. только на участке 3-4;
4. на участках 1-2 и 3-4;



5. на всех перечисленных участках силы действующие на тело, уравновешены.
2. Какая физическая величина определяет воздействие одного тела на другое, является скоростью изменения импульса?

Варианты ответа:

1. скорость;
2. ускорение;
3. сила;
4. давление;
5. среди перечисленных ответов нет правильного.

3. При вращении твердого тела вокруг неподвижной оси OZ момент внешних сил M_z относительно оси вращения зависит от ...
- А. Момент инерции J_z тела относительно той же оси.
Б. Точки приложения силы.
В. Углового ускорения тела.
Г. Направления силы.

Варианты ответа:

1. только от А и В;
 2. только от А и Б;
 3. только от Б, В и Г;
 4. только от В и Г;
 5. только от Б и Г.
4. Человек, стоящий на вращающейся скамейке Жуковского, повернул вертикально расположенный в руках стержень в горизонтальное положение. В результате этого:
- А. Увеличится момент инерции системы.
Б. Увеличится угловая скорость.
В. Момент импульса системы не изменится.
Г. Увеличится кинетическая энергия системы.

Варианты ответа:

1. только А, Б и Г;
 2. только В;
 3. только Б и Г;
 4. только А и В;
 5. только А.
5. Известно, что при замерзании воды трещины в трубах возникают всегда вдоль трубы. Укажите факторы, которые могут быть причиной этого явления.
- А. Поперек трубы действует сила на единицу длины меньшая, чем вдоль трубы.

- Б. При изготовлении труб возникают остаточные напряжения, создающие трещины вдоль трубы.
- В. Давление в жидкостях и газах передается во все стороны.

Варианты ответа:

1. только А;
 2. только А и Б;
 3. только В;
 4. только А и В;
 5. только Б.
6. Газ совершает работу A и ему передано количество теплоты Q . Чему равно изменение внутренней энергии газа?

Варианты ответа:

1. $\Delta U = A$;
 2. $\Delta U = Q$;
 3. $\Delta U = A + Q$;
 4. $\Delta U = Q - A$;
 5. среди перечисленных ответов нет правильного.
7. В двух сосудах при комнатной температуре хранится по 1 молю газа. В первом сосуде газ состоит из одноатомных молекул, а во втором – из двухатомных. Каково отношение молярных теплоемкостей этих газов при постоянном объеме $C_v(1)/C_v(2)$?

Варианты ответа:

1. 3/5;
 2. S;
 3. 2/1;
 4. 1/1;
 5. 5/3.
8. Известно, что пуля может пробить в пустом стакане только два маленьких отверстия, в то время как наполненный водой стакан пуля разбивает вдребезги. Укажите факторы, которые могут быть причиной этого явления.
- А. За время входа пули в стакан уровень воды не успеваает измениться.
- Б. В месте входа пули вода сжимается и возникает область высокого давления.
- В. Давление в жидкостях и газах передается во все стороны.
- Г. Вода оказывает большее сопротивление движению пули, чем воздух.

Варианты ответа:

1. только А, Б и В;
2. только Б и В;

3. только Б, В и Г;
 4. только В и Г;
 5. все эти факторы.
9. Маятник настенных механических часов представляет собой легкий стержень с грузиком. Для регулировки точности хода часов грузик можно перемещать по стержню. Как изменится период колебаний маятника, если грузик переместить с конца стержня на середину?

Варианты ответа:

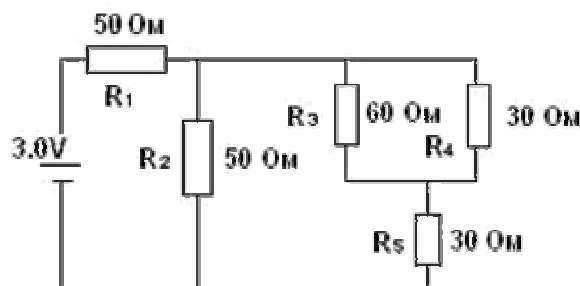
1. увеличится в 4 раза;
 2. уменьшится в $\sqrt{2}$ раз;
 3. увеличится в 2 раза;
 4. увеличится в $\sqrt{2}$ раз;
 5. уменьшится в 2 раза.
10. При комнатной температуре сопротивления резисторов из полупроводника и металла оказались одинаковыми. Когда эти резисторы нагрели, их сопротивления изменились. Какое утверждение относится к полупроводниковому резистору?

Варианты ответа:

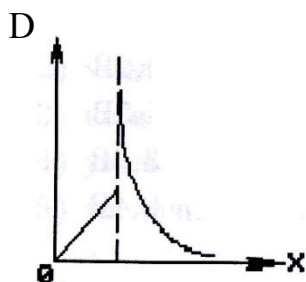
1. удельная электропроводность увеличилась;
 2. сопротивление менялось как линейная функция температуры;
 3. удельное сопротивление увеличилось;
 4. концентрация носителей заряда не изменилась;
 5. длина свободного пробега электронов возросла.
11. В цепи, показанной на рисунке, сопротивления даны в омах, а батарея предполагается идеальной (с внутренним сопротивлением равным нулю) с э.д.с. $\varepsilon = 3$ В. Сопротивление, при котором рассеивается наибольшая мощность.

Варианты ответа:

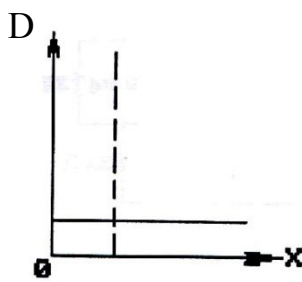
1. R_5 ;
2. R_2 ;
3. R_1 ;
4. R_3 ;
5. R_4 .



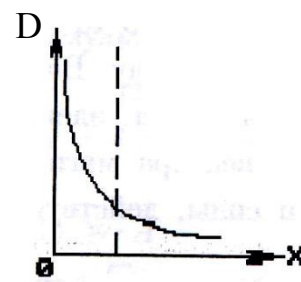
12. Укажите график зависимости вектора электрической индукции D от расстояния для равномерно заряженного по объему диэлектрического шара.



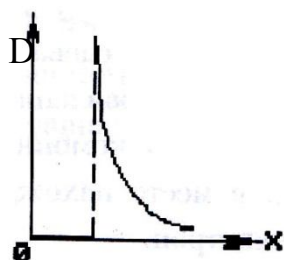
А



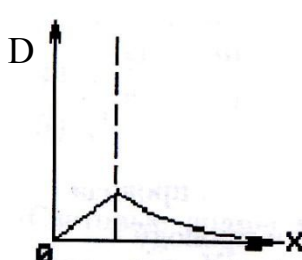
Б



В



Г



Д

Варианты ответа:

1. Д;
2. Б;
3. А;
4. В;
5. Г.

13. Круглая плоская катушка радиусом 20 см содержит 12 витков провода. Магнитное поле, направленное перпендикулярно плоскости катушки, меняется со скоростью 0,02 Тл/с. Возникающая при этом ЭДС наиболее близка к ...

Варианты ответа:

1. 0,01В;
2. 0,03В;
3. 0,30В;
4. 0,80В;
5. 0,13В.

14. При комнатной температуре сопротивления резисторов из двух различных полупроводниковых материалов оказались одинаковыми. Когда эти резисторы нагрели, то сопротивление первого из них стало меньше второго ($R_1 < R_2$). Укажите причину этого явления.

Варианты ответа:

1. ширина валентной зоны второго материала больше;
 2. в первом резисторе применен материал с меньшей шириной запрещенной зоны;
 3. уровень Ферми для второго резистора сместился вниз;
 4. ширина зоны проводимости первого материала больше;
 5. энергия активации носителей заряда во втором резисторе больше.
- 15.** Воздушный конденсатор с параллельными пластинами заряжен, а затем отсоединен от батареи. Ввод диэлектрика в конденсатор приведет:

Варианты ответа:

1. к уменьшению заряда на пластинах конденсатора;
 2. к увеличению заряда на пластинах конденсатора;
 3. не повлияет на заряд и напряжение конденсатора;
 4. к увеличению напряжения между пластинами;
 5. к уменьшению напряжения между пластинами.
- 16.** При включении тока в цепи его величина в некотором проводнике возрастала линейно и за 2 секунды достигла 6 А. Сопротивление проводника 20 Ом. Количество теплоты, выделившееся в проводнике за это время, наиболее близко к ...

Варианты ответа:

1. 720 Дж;
 2. 240 Дж;
 3. 480 Дж;
 4. 360 Дж;
 5. 960 Дж.
- 17.** Маятник из молекул, имеющий дипольный магнитный момент p_m , помещен в однородное магнитное поле. Что произойдет с дипольными моментами молекул?

Варианты ответа:

1. они ориентируются против поля;
 2. они ориентируются по полю;
 3. их ориентация не изменится;
 4. они ориентируются перпендикулярно полю;
 5. нет верного ответа.
- 18.** Укажите утверждения, которые определяют явление дифракции света.
- А. Любое отклонение при распространении света от законов геометрической оптики
 - Б. Пространственное перераспределение интенсивности света при наложении двух или нескольких когерентных волн.
 - В. Огибание волнами препятствий и захождение их в область геометрической тени.

- Г. Зависимость фазовой скорости световой волны от ее частоты (длины волны).
- Д. Зависимость показателя преломления вещества от частоты (длины волны) падающего света.

Варианты ответа:

1. А и В;
2. А и Б;
3. А и Г;
4. А и Д;
5. Г и Д.

- 19.** Монохроматический свет с длиной волны λ нормально падает на тонкую пленку с показателем преломления $n > 1$. Какую минимальную толщину должна иметь пленка, чтобы в отраженном свете казаться светлой?

Варианты ответа:

1. $\lambda/8$;
2. λ ;
3. $\lambda/2$;
4. $\lambda/4$;
5. 2λ .

- 20.** Что происходит при вращении поляризатора вокруг направления распространения естественного луча?

- А. За поляризатором $J = J_{ест}$.
- Б. Изменяется ориентация плоскости колебаний света, выходящего из прибора.
- В. Наблюдается изменение интенсивности в пределах от J_{max} до J_{min} .
- Г. Интенсивность света, прошедшего через поляризатор, остается одной и той же, равной $J = \frac{1}{2} J_{ест}$.

Варианты ответа:

- 1) только В;
- 2) А и Б;
- 3) Б и Г;
- 4) только Г;
- 5) только А.

- 21.** От каких свойств среды зависит скорость света в данной среде?

- А. От плотности.
- Б. От температуры.

- В. От магнитных свойств.
- Г. От давления.
- Д. От электрических свойств.

Варианты ответа:

1. Б и Д;
2. В и Г;
3. А и Б;
4. В и Д;
5. А, В и Д.

22. Укажите утверждения, которые определяют явление дисперсии света.

- А. Любое отклонение при распространении света от законов геометрической оптики.
- Б. Пространственное перераспределение интенсивности света при наложении двух или нескольких когерентных волн.
- В. Огибание волнами препятствий и захождение их в область геометрической тени.
- Г. Зависимость фазовой скорости световой волны от ее частоты (длины волны).

Варианты ответа:

1. А и В;
2. А и Б;
3. А и Г; 4. В и Г.

23. К чему приведет в явлении фотоэффекта уменьшение длины волны света?

Варианты ответа:

1. сместится красная граница фотоэффекта;
2. увеличится скорость фотоэлектронов;
3. уменьшится фототок;
4. ничего не изменится.

24. Какая из указанных частиц, если они все двигаются с одинаковой скоростью, обладает наибольшей длиной волны де Бройля?

Варианты ответа:

1. протон; 2. нейтрон; 3. позитрон; 4. длина волны у всех перечисленных частиц одинакова; 5. альфа – частицы.

25. ${}^9_4\text{Be} + {}^2_1\text{H} \rightarrow X + {}^{10}_5\text{B}$

В данной реакции частица X - это...

Варианты ответа

1. альфа – частица; 2. нейтрон; 3. электрон; 4. протон; 5. позитрон.

ВАРИАНТ 4

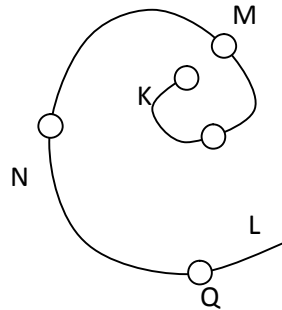
1. Точка движется по закону $\mathbf{r} = t^2 \mathbf{i} + 2t \mathbf{j} + (t^3 - 1)\mathbf{k}$. Это движение происходит под действием силы, которая параллельна...

Варианты ответа:

1. плоскости XOZ;
 2. плоскости YOZ;
 3. оси OX;
 4. плоскости XOY;
 5. оси OZ.
2. Точка движется с постоянным нормальным ускорением по траектории, показанной на рисунке. В какой точке траектории её скорость будет минимальна?

Варианты ответа:

1. Q
 2. K
 3. L
 4. M
 5. N
3. Укажите условия сохранения момента импульса в системе:
- А. Замкнутость системы.
 - Б. Консервативность взаимодействий.
 - В. Неизменность скорости частиц.
 - Г. Постоянство массы частиц.



Варианты ответа:

1. только А и Б;
 2. только А;
 3. только А, Б и В;
 4. только Б;
 5. все эти условия.
4. Молярная теплоемкость при постоянном объеме C_V для некоторого газа равна $1.5 R$ (R – универсальная газовая постоянная). Сколько атомов содержит молекула этого газа? Считать, что атомы в молекуле колебаний не совершают.

Варианты ответа:

1. два;
2. для ответа недостаточно данных;

3. один;
 4. больше трех;
 5. три.
5. Величина силы тяготения, действующей на точечную массу со стороны Земли, равна $F(r)$, где r – расстояние от центра Земли до точечной массы. Предполагается, что Земля – однородная сфера радиуса R . Чему равно отношение $\frac{F(R)}{F(2 \cdot R)}$?

Варианты ответа:

1. 2;
 2. 1;
 3. 8;
 4. 4;
 5. 32.
6. Адиабатическими процессами являются:
- А. Процессы без теплообмена между системой и окружающей средой.
 - Б. Все быстро протекающие процессы.
 - В. Процессы, при которых работа над окружающими телами совершается за счет изменения внутренней энергии системы.
 - Г. Процессы, уравнения которых имеют вид $pV^\gamma = \text{const}$, где p – давление, V – объем, γ – коэффициент Пуассона.

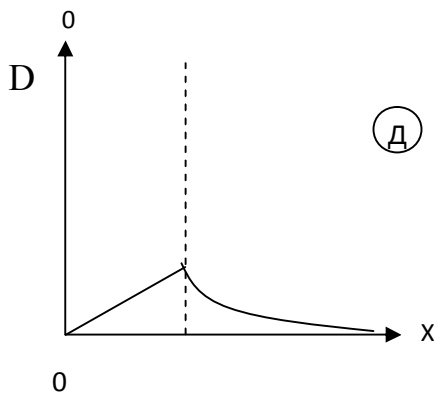
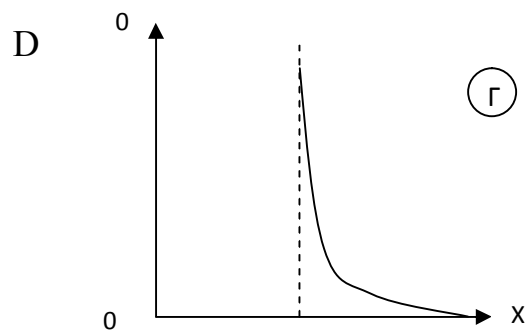
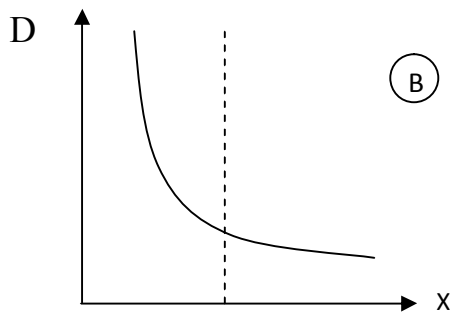
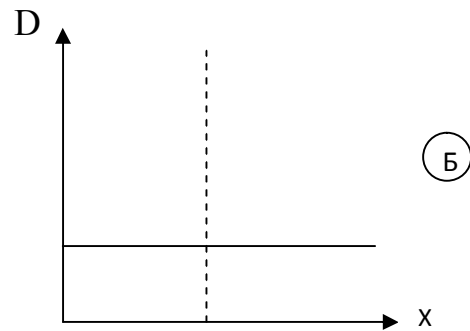
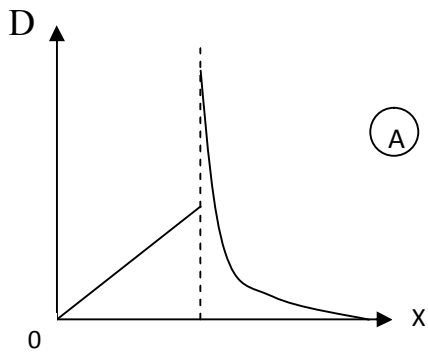
Варианты ответа:

1. все эти процессы;
 2. только Б и В;
 3. А, Б и В;
 4. только А;
 5. только А и Б.
7. Значение числа степеней свободы некоторого газа позволяет определить:
- А. Внутреннюю энергию одного моля газа при известной температуре.
 - Б. Энергию одной молекулы газа при известной температуре.
 - В. Молярную теплоемкость при $p = \text{const}$ или $V = \text{const}$.
 - Г. Коэффициент Пуассона (показатель адиабаты) для данного газа.

Варианты ответа:

1. только А;
2. только А и Б;
3. все эти параметры;
4. А, Б и В;
5. только Б и В.

5. Укажите график зависимости вектора электрической индукции D от расстояния для равномерно заряженного по объему диэлектрического шара.



Варианты ответа:

1. Д;
 2. Б;
 3. А;
 4. В;
 5. Г.
9. Укажите факторы, влияющие на то, что нить лампы накаливания чаще всего перегорает при включении.
- А. С течением времени из-за испарения вольфрама уменьшается сечение нити.

- Б. У холодной нити сопротивление меньше и по ней проходит большой ток.
- В. Теплота, выделяющаяся в проводнике при неизменном напряжении, пропорциональна силе тока.
- Г. При включении происходит скачок напряжения на нити.

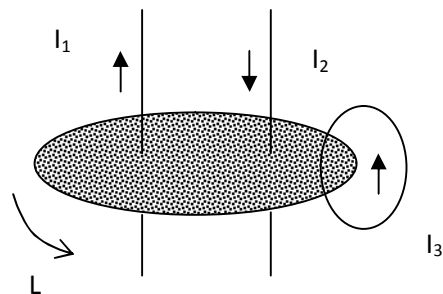
Варианты ответа:

1. только А и Б;
 2. только А;
 3. только Б и В;
 4. только А и В;
 5. только Б.
- 10.** Проводник диаметром 2 сантиметра содержит $1 \cdot 10^{28}$ свободных электронов в каждом кубическом метре. Для электрического тока силой 100 А, скорость дрейфа свободных электронов в проводнике наиболее близка к

Варианты ответа:

1. $6 \cdot 10^{-14}$ м/с;
 2. $5 \cdot 10^{-10}$ м/с;
 3. $5 \cdot 10^{-4}$ м/с;
 4. $8 \cdot 10^{-3}$ м/с;
 5. $1 \cdot 10^{-19}$ м/с.
- 11.** Чему равна циркуляция вектора \mathbf{B} по замкнутому контуру L ?

(μ_0 – магнитная постоянная)



Варианты ответа:

1. $\mu_0(-I_1+I_2+I_3)$
 2. $\mu_0(I_1-I_2+I_3)$
 3. $\mu_0(I_1+I_2+I_3)$
 4. $\mu_0(-I_1-I_2-I_3)$
 5. $\mu_0(-I_1-I_2-I_3)$
- 12.** От чего зависит оптическая разность хода световых волн при интерференции в тонкой пленке?
- А. От толщины пленки.
 - Б. От показателя преломления пленки.
 - В. От угла падения волны на пленку.
 - Г. От амплитуды падающей волны.

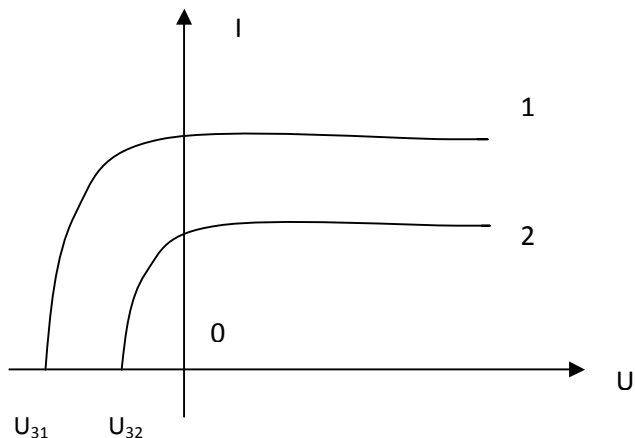
Варианты ответа:

1. только от Б и Г;

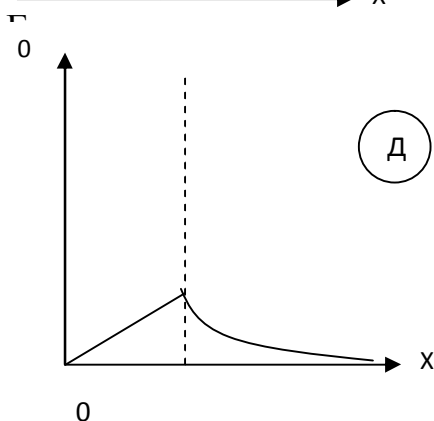
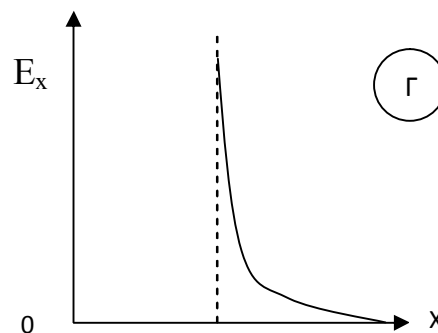
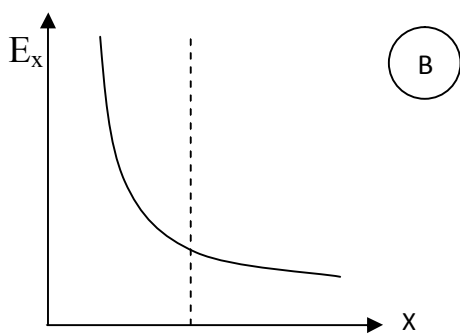
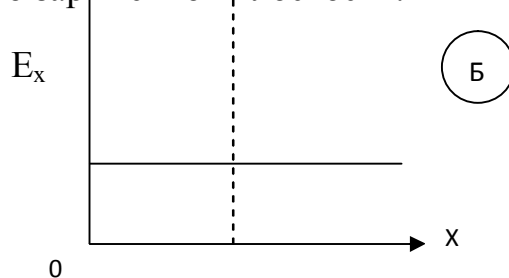
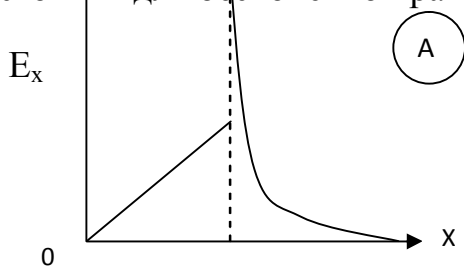
2. только от В и Г;
 3. от А, Б и В;
 4. от всех этих факторов;
 5. только от А и Б.
13. На рисунке изображены вольтамперные характеристики одного и того же фотоэлемента при различных условиях. Каким условиям соответствуют эти графики? (ν – частота света, Φ – световой поток)

Варианты ответа:

1. $\nu_1 > \nu_2; \Phi_1 > \Phi_2;$
2. $\nu_1 > \nu_2; \Phi_1 = \Phi_2;$
3. $\nu_1 = \nu_2; \Phi_1 > \Phi_2;$
4. $\nu_1 < \nu_2; \Phi_1 = \Phi_2;$
5. $\nu_1 < \nu_2; \Phi_1 < \Phi_2.$



14. Укажите график зависимости напряженности электрического поля от расстояния для бесконечной равномерно заряженной плоскости.



Варианты ответа:

1. Г;
2. А;
3. Б;
4. Д;
5. В.

15. Чему равно приведенное ниже выражение для электростатического поля в диэлектрике?

$$\int_1^2 E_1 dl =$$

А. $= \int_V \rho dV$.

В. $= -grad\varphi$.

Б. $= \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon} \rho$.

Г. $= \varphi_1 - \varphi_2$.

Д. 0

Варианты ответа:

1. Д;
2. Б;
3. А;
4. Г;
5. В.

16. Отрицательный заряд движется вблизи длинного прямого провода, по которому течет электрический ток. На заряд будет действовать сила, направленная к проводу, если заряд движется в направлении:

Варианты ответа:

1. от провода;
2. в направлении, противоположном току;
3. перпендикулярно обоим направлениям: и направлению тока, и направлению от заряда к проводу;
4. в том же направлении, что и ток;
5. к проводу.

17. Сила Лоренца...
- А. Относится к классу гироскопических сил.
 - Б. Изменяет направление скорости движения заряда.
 - В. Изменяет величину скорости заряда.
 - Г. Сообщает заряду нормальное ускорение.

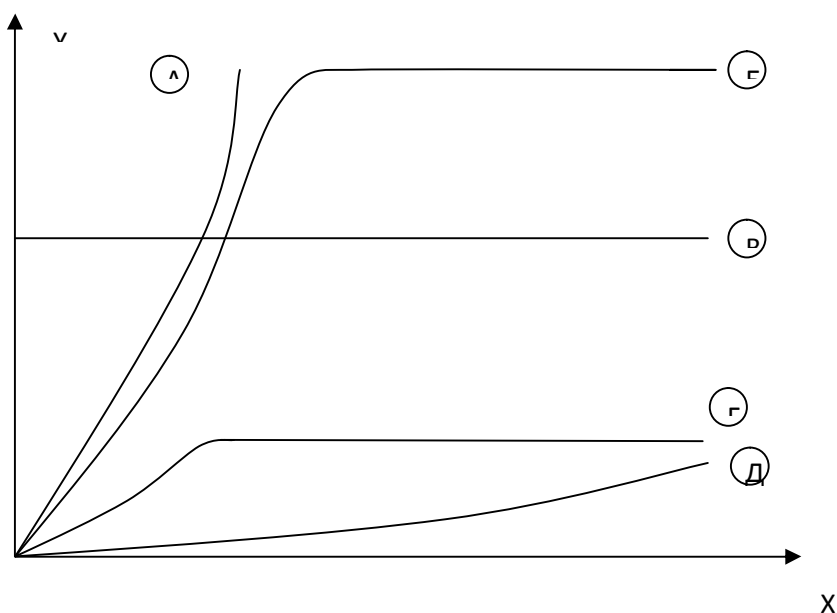
Варианты ответа:

1. Б и Г;
 2. А, Б и Г;
 3. Б, В и Г;
 4. А и Б;
 5. Б и В.
18. При комнатной температуре сопротивления резисторов из полупроводника и металла оказались одинаковыми. Когда эти резисторы нагрели, их сопротивления изменились. Какое утверждение относится к полупроводниковому резистору?

Варианты ответа:

1. удельная электропроводность увеличилась;
 2. сопротивление изменилось как линейная функция температуры;
 3. удельное сопротивление увеличилось;
 4. концентрация носителей заряда не изменилась;
 5. длина свободного пробега электронов возросла.
19. На рисунке по горизонтали отложена величина напряженности магнитного поля H , а по вертикали – величина намагниченности.

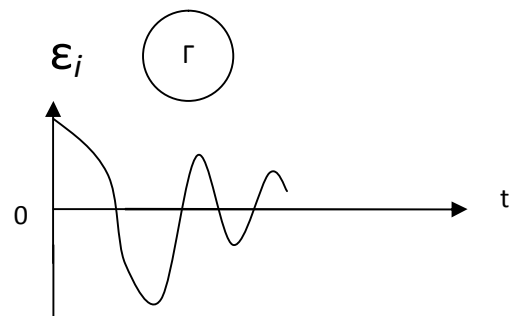
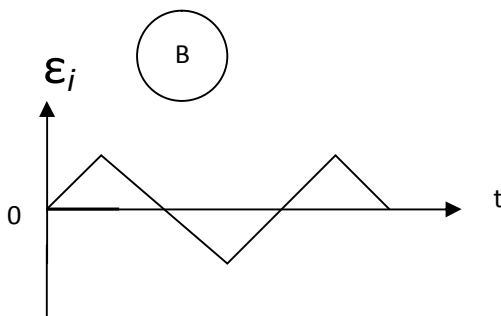
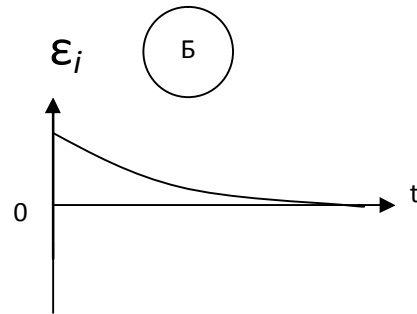
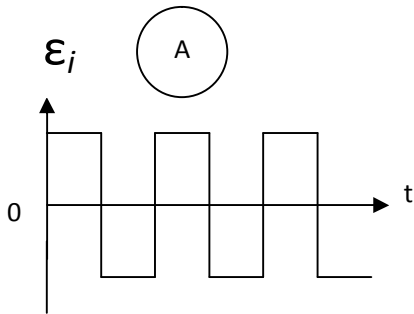
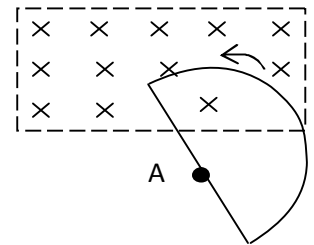
Какой из графиков будет соответствовать намагничиванию парамагнетика?

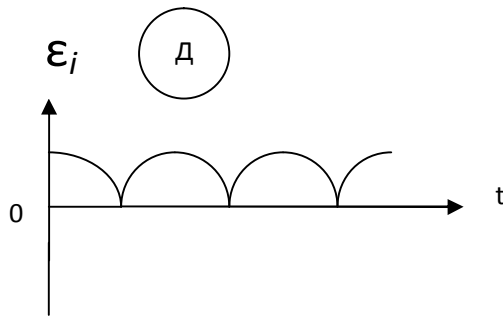


Варианты ответа:

1. В;
2. Б;
3. А;
4. Г;
5. Д.

20. Однородное магнитное поле B направлено от нас перпендикулярно плоскости рисунка и существует только в прямоугольной области (рисунок). Проволочный контур в форме полуокружности равномерно вращается против часовой стрелки в плоскости рисунка вокруг оси A , проходящей через середину диаметра на границе области поля. Какой из следующих графиков наилучшим образом описывает зависимость электродвижущей силы индукции от времени?





Варианты ответа:

1. график Д;
 2. график В;
 3. график А;
 4. график Б;
 5. график Г.
- 21.** Как изменится интерференционная картина на экране, если источники света S_1 и S_2 будут испускать свет с меньшей длиной волны?

Варианты ответа:

1. увеличится число интерференционных полос;
 2. уменьшится интенсивность полос;
 3. уменьшится число интерференционных полос;
 4. увеличится интенсивность полос;
 5. уменьшится ширина интерференционных полос.
- 22.** Укажите условия главных максимумов для дифракции Фраунгофера на дифракционной решетке.

Варианты ответа:

1. $b \sin \varphi = \pm m \lambda$ ($m=1,2,\dots$);
 2. $d \sin \varphi = \pm (P/N) \lambda$ ($P=1,2,\dots N-1,N+1,\dots 2N-1,2N+1\dots$);
 3. $d \sin \varphi = \pm n \lambda$ ($n=1,2,\dots$);
 4. $\sin \varphi = 1,22 \lambda / D$;
 5. $b \sin \varphi = \pm (2m+1) \lambda / 2$ ($m=1,2,\dots$).
- 23.** Соотношение неопределенностей Гейзенберга указывает на:
- А. Несовершенство измерительных приборов.
 - Б. Границу применимости классических понятий.
 - В. Отсутствие причинности в микромире.
 - Г. Наличие волновых свойств у микрочастиц.

Варианты ответа:

1. только Б и Г
2. только В и Г

3. верны все эти утверждения
 4. только А и Б
 5. только А и В
- 24.** Наибольшая длина волны рентгеновских лучей, которые могут испытывать брэгговскую дифракцию на семействе кристаллических плоскостей, находящихся на расстоянии d друг от друга, равна:

Варианты ответа:

1. $d/2$;
2. $2d$;
3. d ;
4. $4d$;
5. $d/4$.

- 25.** Атомное ядро состоит:

Варианты ответа:

1. из позитронов и нейтронов;
2. из электронов, протонов и нейтронов;
3. из электронов и протонов;
4. только из нейтронов;
5. из протонов и нейтронов.

3.3. Примерные задания для контрольных работ

1-й семестр

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА (по разделу «Механика»)

ВАРИАНТ № 1

1. Невесомый блок укреплен на вершине наклонной плоскости, составляющей с горизонтом угол $\alpha = 30^\circ$. Гири А и В массой 1 кг. соединены нитью, перекинутой через блок. Коэффициент трения гири В об наклонную плоскость $k = 0.1$. Найти ускорение, силу натяжения нити. Трением в блоке пренебречь.
2. Платформа, имеющая форму диска может вращаться около вертикальной оси. На краю платформы стоит человек. На какой угол повернется платформа, если человек пойдя вдоль края платформы, и, обойдя, вернется в исходную точку. Масса платформы $M_1 = 240$ кг, масса человека $M_2 = 80$ кг. Момент инерции человека рассчитывать как для материальной точки.
3. Снаряд, летящий со скоростью $V_0 = 500$ м/с, разорвался на два осколка. Меньший осколок, масса которого составляет 20% от обычной массы снаряда, полетел в противоположном направлении со скоростью $V_1 = 100$ м/с. Определить скорость V_2 большего осколка.

ВАРИАНТ № 2

1. Однородный цилиндр массы $m_1 = 10$ кг, радиуса $R = 0.1$ м вращается без трения под действием груза массой $m_2 = 2$ кг. прикрепленного к невесомой нити, намотанной на цилиндр. Найти закон движения тела, если начальное положение тела $f_0 = 0$ и начальная скорость $v_0 = 0$.
2. Три груза массой по 5 кг связаны нитью и движутся по горизонтальной плоскости под действием горизонтальной силы 20 Н, приложенной к первому грузу. Определить ускорение системы и силы натяжения нитей. Силой трения пренебречь.
3. Из автоматического пистолета вылетела пуля массой $m = 10$ г и скоростью $V = 300$ м/с. Затвор пистолета массой $M = 200$ г принимается к столу пружиной, жесткость которой $k = 25$ кН/м. На какое расстояние отойдет затвор после выстрела? Считать что пистолет жестко закреплен.

ВАРИАНТ № 3

1. К потолку вагона подвешен груз. Вагон тормозится и его скорость изменится на $D_v = 12$ v/c за время $D_t = 3$ с. На какой угол при этом отклонится при этом нить с шаром?
2. Диск радиусом $R = 20$ см и массой $m = 6$ кг вращается с частотой $n = 18$ об/с. При торможении он останавливается, сделав 20 оборотов. Считая вращение равнозамедленным, определить время торможения и тормозящий момент.
3. Человек стоит на скамейке Жуковского и ловит мяч массой $m = 0.4$ кг, летящий в горизонтальном направлении со скоростью $V = 20$ м/с. Траектория мяча проходит на расстоянии $r = 0.8$ м от вертикальной оси вращения скамейки. С какой угловой скоростью ω начнет вращаться скамейка Жуковского с человеком, поймавшего мяч? Считать, что суммарный момент инерции человека и скамейки $I = 6$ кг \cdot м².

ВАРИАНТ № 4

1. Какую скорость должен иметь самолет, выполняющий "петлю Нестерова", чтобы в верхней точке летчик находился в состоянии невесомости? Радиус петли 300 м.
2. На барабан радиусом $R = 0.5$ м намотан шнур, к концу которого привязан груз массой $m_2 = 10$ кг. Найти момент инерции барабана, если известно, что груз опускается с ускорением $a = 2$ м/с².
3. Акробат падает на сетку с высоты $h = 8$ м. На какой предельной высоте h_1 над полом надо поставить сетку, чтобы акробат не ударился при прыжке. Известно, что сетка прогибается на $x_1 = 0.1$ м, если акробат стоит на ней.

2-й семестр

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА (по разделу «Электричество и магнетизм»)

ВАРИАНТ № 1

1. Две параллельные заряженные плоскости, поверхностные плотности заряда которых $s_1 = 2$ мкКл/м² и $s_2 = -0.8$ мкКл/м², находятся на расстоянии $d = 0.6$ см друг от друга. Определить разность потенциалов U между плоскостями.
2. Определить силу тока в каждом элементе и напряжение на зажимах реостата, если $e_1 = 12$ В, $R_1 = 1$ Ом, $e_2 = 6$ В, $R_2 = 1.5$ Ом и $R = 20$ Ом.

3. За время $t = 8$ с при равномерно возрастающей силе тока в проводнике сопротивлением $R = 8$ Ом выделялось количество теплоты $Q = 500$ Дж. Определить заряд q , протекший в проводнике, если сила тока в момент времени $t = 0$ равна нулю.

ВАРИАНТ № 2

1. Поверхностная плотность заряда бесконечной протяженной вертикальной плоскости равна 400 мкКл/м². К плоскости на нити подвешен шарик массой $m = 10$ г. Определить заряд Q шарика, если нить образует с плоскостью угол $f = 30^\circ$.
2. Резистор сопротивлением $R = 6$ Ом подключен к двум параллельно соединенным источникам тока с э.д.с. $e_1 = 2.2$ В и $e_2 = 2.4$ В и внутренним сопротивлением $R_1 = 0.8$ Ом и $R_2 = 0.2$ Ом. Определить силу тока I в этом резисторе и напряжение U на зажимах второго источника тока.
3. В резисторе сопротивлением 20 Ом сила тока за 5 с линейно возросла от 5 до 15 А. Какое количество теплоты выделилось за это время?

ВАРИАНТ № 3

1. На бесконечном тонкостенном цилиндре диаметром $d = 20$ см равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью $s = 4$ мкКл/м². Определить напряженность поля в точке, отстоящей от поверхности цилиндра на $a = 15$ см.
2. В сеть с напряжением $U = 100$ В подключили катушку с сопротивлением $R_1 = 2$ кОм и вольтметр, соединенные последовательно. Показание вольтметра $U_1 = 80$ В. Когда катушку заменили другой, вольтметр показал $U_2 = 60$ В. Определить сопротивление R_2 другой катушки.
3. Определить количество теплоты Q , выделившееся за время $t = 10$ с в проводнике сопротивлением $R = 10$ Ом, если сила тока в нем, равномерно уменьшаясь, изменилась от $I_1 = 10$ А до $I_2 = 0$.

ВАРИАНТ № 4

1. С какой силой, приходящейся на единицу площади, отталкиваются две одноименно заряженные бесконечно протяженные плоскости с одинаковой поверхностной плотностью заряда $s = 2$ мкКл/м²?
2. Заряд равномерно распределен по бесконечной плоскости с поверхностной плотностью 10 мКл/м². Определить разность потенциалов двух точек поля, од-

на из которых находится на плоскости, а другая удалена от нее на расстояние 10 см.

3. Катушка и амперметр соединены последовательно к источнику тока. К клеммам катушки присоединен вольтметр с сопротивлением 4 кОм. Амперметр показывает силу тока 0.4 А, вольтметр - напряжение 120 В. Определить напряжение катушки. Сколько процентов составит ошибка, если при определении сопротивления катушки не будет учтено сопротивление вольтметра?

ВАРИАНТ № 5

1. Два шарика массой 1 г каждый подвешен на нитях, верхние концы которых соединены вместе. Длина каждой нити 10 см. Какие одинаковые заряды надо сообщить шарикам, чтобы нити разошлись на угол 60° ?

2. Пылинка массой 20 мкг, несущая на себе заряд 40 нКл, влетела в электрическое поле в направлении силовых линий. После прохождения разности потенциалов 200 В пылинка имела скорость 10 м/с. Определить скорость пылинки до того, как она влетела в поле.

3. Сопротивление $r_1 = 5$ Ом, вольтметр и источник тока соединены параллельно. Вольтметр показывает напряжение $U=2$ В. Определить ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока.

3.4. Примерные вопросы для подготовки к экзамену

Студенты осуществляют подготовку к экзамену в соответствии с экзаменационными вопросами, примерное содержание которых дано в п.8.2. «Рабочей программы».

3.5. Примерное содержание экзаменационных билетов

1-й семестр. Механика. Молекулярная физика

БИЛЕТ № 1

1. Механическое движение. Радиус-вектор, скорость, ускорение. Нормальное и тангенциальное ускорение.
2. Вывод закона Пуассона для адиабатического процесса.
3. Играет ли роль при прыжках в длину, насколько высоко вы прыгаете? Какие факторы определяют дальность прыжка?
4. В баллоне объемом $V = 25$ л находится водород при температуре $T = 290$ К. После того как часть водорода израсходовали, давление в баллоне понизилось на $\Delta p = 0,4$ МПа. Определить массу m израсходованного водорода.

БИЛЕТ № 2

1. Первый закон Ньютона. Принцип относительности Галилея. Инерциальные системы отсчета.
2. Теплоемкость при постоянном давлении и постоянном объеме. Формула Майера.
3. Какое движение называют равноускоренным? В каких случаях тело движется равноускорено (укажите условие)?
4. Баллон объемом $V = 30$ л содержит смесь водорода и гелия при температуре $T = 300$ К и давлении $p = 828$ кПа. Масса m смеси равна 24 г. Определить массу m_1 водорода и массу m_2 гелия.

БИЛЕТ № 3

1. Второй и третий законы Ньютона. Принцип независимости действия сил.
2. Обратимые и необратимые процессы. Энтропия термодинамической системы. Приведенное количество теплоты. Неравенство Клаузиуса. Закон возрастания энтропии.
3. Что характеризуют тангенциальная и нормальная составляющие ускорения? Как направлены эти составляющие и чему они численно равны? Дайте пояснительный чертеж.

4. Давление p газа равно 1 МПа, концентрация n его молекул равна 10^{10} см^{-3} . Определить 1) температуру T газа; 2) среднюю кинетическую энергию $\langle \varepsilon_{\text{п}} \rangle$ поступательного движения молекул газа.

БИЛЕТ № 4

1. Классификация сил и видов взаимодействия.
2. Вывод основного уравнения молекулярно-кинетической теории.
3. Какая система отсчета называется инерциальной? Почему система отсчета, связанная с Землей, строго говоря, неинерциальна?
4. В сосуде находится смесь кислорода и водорода. Масса m смеси равна 3,6 г. Массовая доля ω_1 кислорода составляет 0,6. Определить количество вещества ν смеси, ν_1 и ν_2 каждого газа в отдельности.

БИЛЕТ № 5

1. Основная задача динамики. Уравнения движения. Пример: движение тела под действием силы тяжести.
2. Общие формулировки II начала термодинамики.
3. Является ли I закон Ньютона следствием второго закона? Почему? В каких системах отсчета справедливы законы Ньютона?
4. Найти среднюю длину свободного пробега $\langle \lambda \rangle$ молекул водорода при давлении $p = 0,1$ мПа и температуре $T = 100$ К

БИЛЕТ № 6

1. Система материальных точек. Центр масс, скорость, ускорение центра масс. Закон движения центра масс системы материальных точек.
2. Дайте определение и изобразите на диаграмме P - V основные процессы: изобарный, изохорный, изотермический, адиабатический. Сформулируйте законы, справедливые для этих процессов.
3. Что называется центром масс системы материальных точек? Как движется центр масс замкнутой системы?
4. Водород занимает объем $V_1 = 10 \text{ м}^3$ при давлении $p_1 = 100$ кПа. Газ нагрели при постоянном объеме до давления $p_2 = 300$ кПа. Определить: 1) изменение ΔU внутренней энергии газа; 2) работу A , совершаемую газом; 3) количество теплоты Q , сообщенную газу.

БИЛЕТ № 7

1. Система материальных точек. Внешние и внутренние силы. Вывод основного закона динамики для системы материальных точек.

2. Внутренняя энергия. Работа газа при изменении объема. Количество теплоты. Теплоемкость. I начало термодинамики.
3. Каким способом может человек, стоящий на абсолютно гладком льду, покрывающем поверхность пруда, достигнуть берега?
4. Гелий массой $m = 1$ г. был нагрет на $\Delta T = 100$ К при постоянном давлении p . Определить: 1) количество теплоты Q , переданное газу; 2) работу A расширения; 3) приращение ΔU внутренней энергии газа.

БИЛЕТ № 8

1. Закон сохранения импульса системы тел. Абсолютно упругий и неупругий удар шаров.
2. Круговые процессы. Цикл Карно и его к.п.д. Тепловой двигатель и холодильная машина.
3. Человек в лодке, гребущий против течения, покоится относительно берега. Совершает ли он какую-нибудь работу?
4. Водород при нормальных условиях имел объем $V_1 = 100$ м³. Найти изменение ΔU внутренней энергии газа при его адиабатическом расширении до объема $V_2 = 150$ м³.

БИЛЕТ № 9

1. Кинематика вращательного движения. Угловое перемещение, угловая скорость, угловое ускорение.
2. Расчет работы при изобарном и изохорном процессах.
3. Работа результирующей силы связана с изменением кинетической энергии. Может ли случиться, что работа одной из составляющих силы окажется больше изменения кинетической энергии? Если это возможно, приведите пример.
4. При адиабатическом сжатии кислорода массой $m = 20$ г его внутренняя энергия увеличилась на $\Delta U = 8$ кДж и температура повысилась до $T_2 = 900$ К. Найти: 1) изменение температуры ΔT ; 2) конечное давление p_2 , если начальное давление $p_1 = 200$ кПа.

БИЛЕТ № 10

1. Связь между линейными и угловыми скоростями и ускорениями.
2. Микро- и макросостояния. Энтропия как мера беспорядка системы. Закон Больцмана. Свойства энтропии.

3. Некоторый предмет, брошенный вниз, отскакивает от земли обратно до высоты в полтора раза большей, чем начальная. Какое заключение вы можете сделать из этого наблюдения?
4. Идеальный газ, совершающий цикл Карно, $2/3$ количества теплоты Q_1 , полученного от нагревателя, отдает охладителю. Температура T_2 охладителя равна 280 К. Определить температуру нагревателя T_1 .

БИЛЕТ № 11

1. Связь между характеристиками поступательного и вращательного движения.
2. Круговые процессы. Цикл Карно и его к.п.д. Тепловой двигатель и холодильная машина.
3. Колесо вращается вокруг оси, проходящей через его центр тяжести. Если оно вращается с постоянной угловой скоростью, то обладает ли любая выбранная точка на ободе нормальным ускорением? Обладает ли эта точка тангенциальным ускорением?
4. В результате изохорического нагревания водорода массой $m = 1$ г давление p газа увеличилось в два раза. Определить изменение ΔS энтропии газа.

БИЛЕТ № 12

1. Момент силы. Момент импульса материальной точки. Уравнение моментов. Закон сохранения момента импульса для системы материальных точек.
2. Число столкновений и длина свободного пробега молекул в газах.
3. Требуется определить момент инерции тела сложной геометрической формы. Математический расчет в таком случае становится крайне трудным. Укажите способ, с помощью которого момент инерции такого тела мог бы быть определен экспериментально.
4. Кислород массой $m = 2$ кг увеличил свой объем в $n = 5$ раз: один раз изотермически, другой – адиабатически. Найти изменения энтропии в каждом из указанных процессов.

БИЛЕТ № 13

1. Момент силы. Момент инерции. Вывод основного закона динамики вращательного движения твердого тела. Закон сохранения момента импульса для системы тел. Пример.
2. Общие формулировки II начала термодинамики.
3. Деревянный шар скатывается вниз без скольжения поочередно по наклонным плоскостям одинаковой высоты, но разного наклона. Будет ли время скатывания в одном случае больше, чем в другом, и почему? Будут ли скорости шара у оснований наклонных плоскостей одинаковы?
4. Кусок льда массой $m = 200$ г, взятый при температуре $t_1 = -10^\circ\text{C}$, был нагрет до температуры $t_2 = 0^\circ\text{C}$ и расплавлен, после чего образовавшаяся вода была нагрета до температуры $t = 10^\circ\text{C}$. Определить изменение ΔS энтропии в ходе указанных процессов.

БИЛЕТ № 14

1. Расчет момента инерции для тел различной формы (стержень, диск). Теорема Штейнера.
2. Строение и свойства кристаллических и аморфных тел. Элементы кристаллографии. Влияние типа связи на структуру и свойства кристаллов. Дефекты структуры.
3. Можно ли передать некоторое количество теплоты веществу, не вызывая этим повышения температуры?
4. Наклонная плоскость, образующая угол $\alpha = 25^\circ$ с плоскостью горизонта, имеет длину $l = 2$ м. Тело, двигаясь равноускоренно, соскользнуло с этой плоскости за время $t = 2$ с. Определить коэффициент трения f тела о плоскость.

БИЛЕТ № 15

1. Механическая работа. Работа постоянной и переменной силы. Пример. Мощность.
2. Работа при адиабатическом процессе.
3. В зимний день температура внутренней поверхности стены немного ниже температуры помещения, а температура наружной поверхности стены немного выше температуры наружного воздуха. Объясните это.

4. Материальная точка массой $m = 2$ кг движется под действием некоторой силы F согласно уравнению $x = A + Bt + Ct^2 + Dt^3$, где $C = 1$ м/с², $D = -2$ м/с³. Найти значения этой силы в моменты времени $t_1 = 2$ с и $t_2 = 5$ с. В какой момент времени сила равна нулю?

БИЛЕТ № 16

1. Работа и кинетическая энергия. Теорема об изменении кинетической энергии. Полная кинетическая энергия твердого тела.
2. Обратимые и необратимые процессы. Энтропия термодинамической системы. Приведенное количество теплоты. Неравенство Клаузиуса. Закон возрастания энтропии.
3. Может ли заданное количество механической энергии целиком превратиться во внутреннюю? Если это возможно, приведите пример?
4. Шарик массой $m = 100$ г упал с высоты $h = 2,5$ м на горизонтальную плиту, масса которой много больше массы шарика, и отскочил от нее вверх. Считая удар абсолютно упругим, определить импульс p , полученный плитой.

БИЛЕТ № 17

1. Консервативные и неконсервативные силы. Потенциальная энергия тела. Закон сохранения механической энергии (вывод).
2. Расчет работы при изотермическом процессе.
3. Некоторое тело возвращается в свое первоначальное состояние после превращения его механической энергии во внутреннюю в результате трения. Будет ли этот процесс обратимым с термодинамической точки зрения?
4. Через блок, имеющий форму диска, перекинут шнур. К концам шнура привязали грузики массой $m_1 = 100$ г и $m_2 = 110$ г. С каким ускорением будут двигаться грузики, если масса m блока равна 400 г? Трение при вращении блока ничтожно мало.

БИЛЕТ № 18

1. Расчет потенциальной энергии тела в поле различных сил (гравитационное взаимодействие, упруго деформированная пружина).
2. Дайте определение и изобразите на диаграмме P - V основные процессы: изобарный изохорный, изотермический, адиабатический. Сформулируйте законы, справедливые для этих процессов.

3. Какие факторы уменьшают к.п.д. теплового двигателя по отношению к его предельному значению?
4. Человек стоит на скамье Жуковского и ловит рукой мяч массой $m = 0,4$ кг, летящий в горизонтальном направлении со скоростью $v = 20$ м/с. Траектория мяча проходит на расстоянии $r = 0,8$ м от вертикальной оси вращения скамьи. С какой угловой скоростью ω начнет вращаться скамья Жуковского с человеком, поймавшим мяч, если суммарный момент инерции J человека и скамьи равен $6 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$?

БИЛЕТ № 19

1. Кинематика жидкости. Линии и трубки тока. Уравнение неразрывности.
2. Расчет работы при изотермическом процессе.
3. Чтобы наиболее эффективно увеличить к.п.д. теплового двигателя, работающего по циклу Карно, будете ли вы увеличивать температуру нагревателя T_1 , оставляя температуру холодильника T_2 постоянной, или поступите наоборот?
4. Платформа в виде диска радиусом $R = 1$ м, вращается по инерции с частотой $n_1 = 6 \text{ мин}^{-1}$. На краю платформы стоит человек, масса m которого равна 80 кг. С какой частотой n будет вращаться платформа, если человек перейдет в ее центр? Момент инерции J платформы равен $120 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$? Момент инерции человека рассчитать как для материальной точки.

БИЛЕТ № 20

1. Уравнение Бернулли (вывод). Следствия из уравнения Бернулли.
2. Внутренняя энергия. Работа газа при изменении объема. Количество теплоты. Теплоемкость. I начало термодинамики.
3. Поясните, можно ли охладить воздух в кухне, оставив дверцу холодильника открытой?
4. Маховик, момент инерции J которого равен $40 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$, начал вращаться равноускоренно из состояния покоя под действием момента силы $M = 20$ Н·м. Вращение продолжалось в течение $t = 10$ с. Определить кинетическую энергию T , приобретенную маховиком.

БИЛЕТ № 21

1. Преобразования Галилея. Классический закон сложения скоростей. Механический принцип относительности.
2. Средняя кинетическая энергия молекул. Молекулярно-кинетическое толкование абсолютной температуры. Число степеней свободы молекул. Закон равнораспределения энергии по степеням свободы.
3. Два объема газа, находившихся первоначально при одной и той же температуре и давлении, сжимаются от значения V до $\frac{1}{2}V$ – один изотермически, а другой адиабатически. В каком случае конечная температура будет больше? Будет ли иметь место изменение энтропии при обоих процессах?
4. Движение материальной точки задано уравнением $x = At + Bt^2$, где $A = 4$ м/с; $B = -0,05$ м/с². Определить момент времени, в который скорость v точки равна нулю. Найти координату и ускорение в этот момент.

БИЛЕТ № 22

1. Постулаты Эйнштейна. Преобразования Лоренца.
2. Вывод закона Пуассона для адиабатического процесса.
3. Предположим, что мы предпочли выразить состояние системы через энтропию S и абсолютную температуру T вместо давления и объема. Как будет выглядеть изображение цикла Карно в диаграмме TS ?
4. Наклонная плоскость, образующая угол $\alpha = 25^\circ$ с плоскостью горизонта, имеет длину $l = 2$ м. Тело, двигаясь равноускоренно, соскользнуло с этой плоскости за время $t = 2$ с. Определить коэффициент трения f тела о плоскость.

БИЛЕТ № 23

1. Следствия из преобразований Лоренца: понятие относительности длин и промежутков времени. Пример.
2. Явления переноса в термодинамических неравновесных системах. Вывод закона диффузии, теплопроводности, внутреннего трения.
3. Разъясните такое утверждение: тепловой двигатель, превращает беспорядочное механическое движение в упорядоченное механическое.
4. На железнодорожной платформе установлено орудие. Масса платформы с орудием $M = 15$ т. Орудие стреляет вверх под углом $\varphi = 60^\circ$ к горизонту

в направлении пути. С какой скоростью v_1 покатится платформа вследствие отдачи, если масса снаряда $m = 60$ кг и он вылетает со скоростью $v_2 = 600$ м/с?

БИЛЕТ № 24

1. Релятивистский закон сложения скоростей.
2. Реальные газы. Учет молекулярного взаимодействия. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Сравнение теоретических и экспериментальных изотерм.
3. Возможны ли движения, при которых отсутствует нормальное ускорение? тангенциальное ускорение? Приведите пример.
4. В баллоне объемом $V = 25$ л находится водород при температуре $T = 290$ К. После того как часть водорода израсходовали, давление в баллоне понизилось на $\Delta p = 0,4$ МПа. Определить массу m израсходованного водорода.

БИЛЕТ № 25

1. Динамика теории относительности. Релятивистская масса, импульс и энергия. Закон взаимосвязи между массой и энергией
2. Теплоемкость при постоянном давлении и постоянном объеме. Формула Майера.
3. Что называется центром масс системы материальных точек? Как движется центр масс замкнутой системы?
4. Водород занимает объем $V_1 = 10$ м³ при давлении $p_1 = 100$ кПа. Газ нагрели при постоянном объеме до давления $p_2 = 300$ кПа. Определить: 1) изменение ΔU внутренней энергии газа; 2) работу A , совершаемую газом; 3) количество теплоты Q , сообщенную газом.

2-й семестр. Электричество и магнетизм. Теория колебаний.

БИЛЕТ 1

1. Напряженность электрического поля. Принцип суперпозиции полей. Основная задача электростатики. Применение принципа суперпозиции для расчета напряженности полей дискретных и непрерывно протяженных зарядов (пример).
2. Теорема о циркуляции вектора \mathbf{B} . Применение закона полного тока для расчета магнитной индукции полей прямого тока и соленоида.

3. Объясните, почему нагревается проводник при протекании по нему тока. От чего зависит количество тепла, выделяемого в проводнике?
4. Две параллельные заряженные плоскости, поверхностные плотности заряда которых $\sigma_1 = 2 \text{ мкКл/м}^2$ и $\sigma_2 = -0.8 \text{ мкКл/м}^2$, находятся на расстоянии $d = 0.6 \text{ см}$ друг от друга. Определить разность потенциалов U между плоскостями.

БИЛЕТ 2

1. Емкость. Конденсаторы. Вычислить емкость плоского конденсатора.
2. Закон Био-Савара-Лапласа. Применение закона Био-Савара-Лапласа для расчета индукции поля в центре кругового тока.
3. Чему равна удельная работа сил электростатического поля? Что его отличает от вихревого электрического поля?
4. Заряженная частица прошла ускоряющую разность потенциалов $U=104 \text{ В}$ и влетела в скрещенные под прямым углом электрическое ($E=10 \text{ кВ/м}$) и магнитное ($B=0,1 \text{ Тл}$) поля. Найти удельный заряд частицы Q/m , если, двигаясь перпендикулярно обоим полям, частица не испытывает отклонений от прямой траектории.

БИЛЕТ 3

1. Скалярное и векторное поле. Поток вектора через поверхность. Теорема Остроградского-Гаусса для вектора E .
2. Сила Лоренца. Движение заряженных частиц в магнитном поле. Эффект Холла.
3. В каких устройствах используется действие магнитного поля на рамку с током? Опишите принцип действия таких устройств
4. Поверхностная плотность заряда бесконечно протяженной вертикальной плоскости равна 400 мкКл/м^2 . К плоскости на нити подвешен шарик массой $m = 10 \text{ г}$. Определить заряд Q шарика, если нить образует с плоскостью угол $\alpha = 30^\circ$.

БИЛЕТ 4

1. Электрическое поле в диэлектрике. Поляризованность. Ориентационная и деформационная поляризация. Виды диэлектриков.
2. Магнитное поле тока. Вектор магнитной индукции. Закон Био-Савара-Лапласа. Расчет магнитного поля кругового тока с помощью закона Био-Савара-Лапласа и принципа суперпозиции магнитных полей.

3. Почему при одной и той же величине тока тонкая проволока нагревается сильнее, чем толстая?
4. Заряд равномерно распределен по бесконечной плоскости с поверхностной плотностью 10 мКл/м^2 . Определить разность потенциалов двух точек поля, одна из которых находится на плоскости, а другая удалена от нее на расстояние 10 см .

БИЛЕТ 5

1. Теорема Остроградского-Гаусса для вектора \mathbf{E} . Расчет напряженности электростатического поля бесконечной равномерно заряженной плоскости при помощи теоремы Остроградского-Гаусса.
2. Поток вектора магнитной индукции. Теорема Гаусса для вектора \mathbf{B} .
3. Что называется магнитной силовой линией? Каким свойством обладают магнитные силовые линии? Как это связано с характером магнитного поля?
4. Электрон, пройдя в плоском конденсаторе путь от одной пластины до другой, приобрел скорость $v = 105 \text{ м/с}$. Расстояние между пластинами $d = 8 \text{ мм}$. Найти: 1) разность потенциалов U между пластинами; 2) поверхностную плотность заряда σ на пластинах.

БИЛЕТ 6

1. Расчет напряженности электростатического поля бесконечной равномерно заряженной цилиндрической поверхности при помощи теоремы Остроградского-Гаусса.
2. Обобщение закона электромагнитной индукции Максвеллом. I уравнение Максвелла. Вихревое электрическое поле.
3. Докажите, что силовые линии электростатического поля ортогональны эквипотенциальным поверхностям.
4. Электрон, имея скорость $v=2 \text{ Мм/с}$, влетел в однородное магнитное поле с индукцией $B=30 \text{ мТл}$ под углом $\alpha=30^\circ$ к направлению линий магнитной индукции. Определить радиус R и шаг h винтовой линии, по которой будет двигаться электрон.

БИЛЕТ 7

1. Расчет напряженности электростатического поля заряженного по объему шара при помощи теоремы Остроградского-Гаусса.
2. Ферромагнетики и их свойства. Магнитный гистерезис. Природа ферромагнетизма.

3. Плоский конденсатор подключен к источнику напряжения U . Как изменится заряд на конденсаторе, если, не отключая от источника, его пластины раздвинуть?
4. Пылинка массой 20 мкг, несущая на себе заряд 40 нКл, влетела в электрическое поле в направлении силовых линий. После прохождения разности потенциалов 200 В пылинка имела скорость 10 м/с. Определить скорость пылинки до того, как она влетела в поле

БИЛЕТ 8

1. Работа сил электростатического поля по перемещению заряда. Потенциальный характер электростатического поля. Потенциальная энергия взаимодействия двух точечных зарядов.
2. Явление электромагнитной индукции. Правило Ленца. Закон Фарадея.
3. Два резистора с сопротивлениями $R_1 = 2$ Ом и $R_2 = 10$ Ом соединены параллельно и подключены к источнику тока. В каком из них сила тока будет больше? Ответ обоснуйте.
4. По бесконечно длинному прямому проводу, согнутому под углом $\alpha = 120^\circ$, течет ток силой $I = 50$ А. Найти магнитную индукцию \mathbf{B} в точках, лежащих на биссектрисе угла и отстоящих от его вершины на расстоянии $a = 5$ см.

БИЛЕТ 9

1. Потенциал электростатического поля. Разность потенциалов. Потенциал поля точечного заряда. Эквипотенциальные поверхности. Принцип суперпозиции для потенциала (пример).
2. Магнитное взаимодействие токов. Сила Ампера. Единица магнитной индукции.
3. У электроплитки, рассчитанной на напряжение 220 В, две одинаковых спирали, которые можно включать отдельно каждую, последовательно или параллельно. В каком случае мощность плитки наибольшая?
4. На бесконечном тонкостенном цилиндре диаметром $d = 20$ см равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью $\sigma = 4$ мкКл/м². Определить напряженность поля в точке, отстоящей от поверхности цилиндра на расстоянии $a = 15$ см.

БИЛЕТ 10

1. Связь между напряженностью и потенциалом электростатического поля.
2. Магнитное поле тока. Вектор магнитной индукции. Закон Био-Савара-Лапласа. Расчет магнитного поля кругового тока с помощью закона Био-Савара-Лапласа и принципа суперпозиции магнитных полей.
3. Можно ли, имея два одинаковых конденсатора, получить емкость вдвое меньшую и вдвое большую, чем у одного конденсатора?
4. Расстояние между зарядами $Q_1 = 100$ нКл и $Q_2 = -50$ нКл равно 10 см. Определить силу, действующую на заряд $Q_3 = 1$ мкКл, отстоящей на 12 см от заряда Q_1 и на 10 см от заряда Q_2 .

БИЛЕТ 11

1. Вектор электрического смещения D . Теорема Остроградского-Гаусса для вектора D .
2. Принцип суперпозиции магнитных полей. Применение закона Био-Савара-Лапласа для расчета поля прямолинейного тока конечной и бесконечной длины.
3. Электрон влетел в однородное электрическое поле вдоль его силовых линий. Каков характер его движения в поле, траектория, ускорение?
4. Два шарика массой 1 г каждый подвешен на нитях, верхние концы которых соединены вместе. Длина каждой нити 10 см. Какие одинаковые заряды надо сообщить шарикам, чтобы нити разошлись на угол 60° ?

БИЛЕТ 12

1. Проводники в электрическом поле. Электростатическая индукция. Принцип электростатической защиты.
2. Явление самоиндукции. Индуктивность. Токи при замыкании и размыкании цепи.
3. Сравните потенциал точечного заряда $q=10$ нКл в точке, удаленной от него на расстояние $r_1=5$ см с потенциалом, созданным равномерно заряженной сферой радиуса $R=1$ см, несущей заряд $Q=10$ нКл, на расстоянии $r_2=4$ см от ее поверхности.
4. В проводнике за время $t=20$ с при равномерном возрастании силе тока от $I_1=2$ А до $I_2=6$ А выделилось количество теплоты $Q=8$ кДж. Найти сопротивление R проводника.

БИЛЕТ 13

1. Електроемкость. Конденсаторы. Расчет электроемкости плоского конденсатора.
2. Циркуляция вектора магнитной индукции. Закон полного тока. Применение закона полного тока для расчета поля соленоида.
3. Как изменится потенциальная энергия взаимодействия двух точечных зарядов при их сближении? Рассмотреть случаи одноименных и разноименных зарядов. Сопротивление $R = 5 \text{ Ом}$, вольтметр и источник тока соединены параллельно. Вольтметр показывает напряжение 1 В . Определить ЭДС и внутреннее
4. Сопротивление $R = 5 \text{ Ом}$, вольтметр и источник тока соединены параллельно. Вольтметр показывает напряжение 1 В . Определить ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока.

БИЛЕТ 14

1. Источники тока. Сторонние силы. Электродвижущая сила источника. Падение напряжения. Условия существования тока в цепи.
2. Обобщение закона электромагнитной индукции Максвеллом. I уравнение Максвелла. Вихревое электрическое поле.
3. Чему равна разность потенциалов двух точек электрического поля равномерно заряженной сферы, если одна из точек находится на поверхности сферы, а другая - в ее центре?
4. По тонкому проводящему кольцу радиусом $R = 10 \text{ см}$ течет ток силой $I = 80 \text{ А}$. Найти магнитную индукцию \mathbf{B} в точке, равноудаленной от всех точек кольца на расстояние $r = 20 \text{ см}$.

БИЛЕТ 15

1. Расчет электростатического поля бесконечной равномерно заряженной плоскости при помощи теоремы Гаусса.
2. Понятие о токе смещения. Второе уравнение Максвелла.
3. Мимо сидящего в комнате человека лаборант пронесит заряженный проводник. Для кого из них существует магнитное поле? Электрическое поле?
4. К источнику тока с внутренним сопротивлением $r = 2 \text{ Ом}$ подключают катушку индуктивностью $L = 0,5 \text{ Гн}$ и сопротивлением $R = 8 \text{ Ом}$. Найти время t , в

течение которого ток в катушке, нарастая, достигнет значения, отличающегося от максимального на 1%.

БИЛЕТ 16

1. Сегнетоэлектрики и их свойства. Электрический гистерезис. Применение сегнетоэлектриков.
2. Сила Лоренца. Движения заряженных частиц в магнитном поле. Эффект Холла.
3. Электрон влетел в заряженный плоский конденсатор параллельно его обкладкам, расположенным горизонтально. Является ли его движение равноускоренным? Какова траектория движения электрона в поле конденсатора?
4. По проводнику, согнутому в виде квадратной рамки со стороной $a=10$ см, течет ток силой $I=5$ А. Определить магнитную индукцию в точке пересечения диагоналей квадрата.

БИЛЕТ 17

1. Электрический заряд. Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Силовые линии. Напряженность поля точечного заряда.
2. Намагничивание магнетиков. Магнитный момент. Расчет внутреннего магнитного поля. Напряженность магнитного поля.
3. Чему равна циркуляция вектора магнитной индукции B по замкнутому контуру в магнитном поле? Почему магнитное поле называют вихревым?
4. Определить заряд, прошедший по резистору с сопротивлением 1 Ом, при равномерном возрастании напряжения на концах резистора от 1 до 3 В в течение 10 с.

БИЛЕТ 18

1. Закон Ома в интегральной и дифференциальной форме. Электросопротивление. Сверхпроводимость.
2. Система уравнений Максвелла и их физический смысл.
3. Чему равна разность потенциалов двух точек электрического поля равномерно заряженной сферы, если одна из точек находится на поверхности сферы, а другая - в ее центре?
4. Тонкий медный провод массой $m=1$ г согнут в виде квадрата и концы его замкнуты. Квадрат помещен в однородное магнитное поле ($B=0,1$ Тл) так, что плоскость его перпендикулярна линиям индукции поля. Какой заряд Q протечет по проводнику, если квадрат, потянув за противоположные вершины, вытянуть в линию?

БИЛЕТ 19

1. Расчет напряженности электрического поля системы точечных и протяженных линейных зарядов. Примеры: вычислить напряженность на оси равномерно заряженного кольца.
2. Магнитное взаимодействие токов. Сила Ампера. Единица магнитной индукции.
3. Какую опасность представляют собой обесточенные цепи с имеющимися в них конденсаторами?
4. В электрической цепи течет ток $I_0 = 50$ А. Определить силу тока в этой цепи через $t = 0,01$ с после отключения ее от источника тока. Сопротивление R цепи равно 20 Ом, ее индуктивность $L = 0,1$ Гн.

БИЛЕТ 20

1. Работа и мощность тока. Закон Джоуля-Ленца в интегральной форме.
2. Обобщение закона электромагнитной индукции Максвеллом. I уравнение Максвелла. Вихревое электрическое поле.
3. Как изменится потенциальная энергия взаимодействия двух точечных зарядов при их сближении? Рассмотреть случаи одноименных и разноименных зарядов.
4. Электрическое поле образовано бесконечно длинной заряженной нитью, линейная плотность заряда которой $t = 20$ нКл/м. Определить разность потенциалов U двух точек поля, отстоящих на расстоянии $r_1 = 8$ см и $r_2 = 12$ см.

БИЛЕТ 21

1. Закон Ома для неоднородного участка цепи, для замкнутой цепи. Разветвленные цепи; правила Кирхгофа.
2. Циркуляция вектора магнитной индукции. Закон полного тока. Применение закона полного тока для поля соленоида.
3. Изобразите силовые линии поля между обкладками цилиндрического конденсатора. Является ли это поле однородным? Вблизи какой обкладки начинается электрический пробой диэлектрика в мощном электрическом поле?
4. Протон влетает со скоростью $v = 100$ км/с в область пространства, где имеются электрическое ($E = 210$ В/м) и магнитное ($B = 3,3$ мТл) поля. Вектора \mathbf{E} и \mathbf{B} совпадают по направлению. Определить ускорение протона в начальный момент движения в поле, если направление вектора его скорости \mathbf{v} : 1) совпадает с общим направлением векторов \mathbf{E} и \mathbf{B} ; 2) перпендикулярно этому направлению.

БИЛЕТ 22

1. Электрический заряд. Закон Кулона. Напряженность электрического поля. Силовые линии. Напряженность поля точечного заряда.
2. Принцип суперпозиции магнитных полей. Применение закона Био-Савара-Лапласа для расчета поля прямолинейного тока конечной и бесконечной длины.
3. Почему при соприкосновении двух одинаковых по размерам металлических заряженных шариков, их заряды становятся одинаковыми?
4. Сила тока в проводнике изменяется со временем по закону $I = I_0 e^{-\alpha t}$, где $I_0 = 20 \text{ А}$, $\alpha = 102 \text{ с}^{-1}$. Определить количество теплоты, выделившееся в проводнике за время $t = 102 \text{ с}$, $R = 10 \text{ Ом}$.

БИЛЕТ 23

1. Работа сил электростатического поля по перемещению заряда. Потенциал электростатического поля. Разность потенциалов.
2. Природа магнитных свойств вещества. Виды магнетиков, характер их намагничивания.
3. Действие каких устройств основано на явлении электромагнитной индукции? Опишите принцип их работы.
4. Катушка и амперметр соединены последовательно и подключены к источнику тока. К клеммам катушки присоединен вольтметр с сопротивлением $r = 4 \text{ Ом}$. Амперметр показывает силу тока $I = 0.3 \text{ А}$, вольтметр - напряжение $U = 120 \text{ В}$. Определить сопротивление R катушки.

БИЛЕТ 24

1. Поле электрического диполя. Дипольный момент. Энергия диполя во внешнем электростатическом поле.
2. Явление электромагнитной индукции. Правило Ленца. Закон Фарадея.
3. Электрон влетел в однородное электрическое поле вдоль его силовых линий. Каков характер его движения в поле, траектория, ускорение? Каков будет характер его движения в однородном магнитном поле? Опишите возможные варианты.
4. Э.д.с. батареи $E = 12 \text{ В}$. При силе тока $I = 4 \text{ А}$ к.п.д. батареи $\eta = 0.6$. Определить внутреннее сопротивление r_1 батареи.

БИЛЕТ 25

1. Расчет электростатического поля бесконечной равномерно заряженной цилиндрической поверхности при помощи теоремы Гаусса.
2. Система уравнений Максвелла и их физический смысл.
3. У электроплитки, рассчитанной на напряжение 220 В, две одинаковых спирали, которые можно включать отдельно каждую, последовательно или параллельно. В каком случае мощность плитки наибольшая?
4. Короткая катушка, содержащая $N=100$ витков, равномерно вращается в однородном магнитном поле с индукцией $B=0,4$ Тл с угловой скоростью $\omega=5$ рад/с вокруг оси, совпадающей с диаметром катушки и перпендикулярной линиям индукции поля. Определить мгновенное значение ЭДС индукции \mathcal{E}_i для тех моментов времени, когда плоскость катушки составляет угол $\alpha=60^\circ$ с линиями индукции поля. Площадь катушки равна 100 см^2 .

3-й семестр. Оптика. Квантовая физика. Физика атома и ядра.

БИЛЕТ 1

1. Уравнение плоской волны. Понятие когерентности волн. Время, длина когерентности. Интерференция волн. Условия усиления и ослабления волн.
2. Постулаты Бора. Спектр атома водорода по Бору. опыты Франка и Герца.
3. Как сместится максимум плотности энергетической светимости $r_{v,T}$ черного тела с повышением температуры?
4. Дифракционная решетка, имеющая 100 штрихов на 1 мм, удалена от экрана на 1,8 м. На каком расстоянии от центральной щели находится первый максимум освещенности, если на решетку падает монохроматический свет с длиной волны 410 нм? Каково расстояние между спектрами первого порядка?

БИЛЕТ 2

1. Методы получения когерентных волн (щели Юнга, бипризма, бизеркала Френеля).
2. Корпускулярные свойства света. Фотоэффект и его законы. Уравнение Эйнштейна. Красная граница фотоэффекта. Эффект Комптона.
3. Какие квантовые числа имеет внешний (валентный) электрон в основном состоянии атома натрия?

4. Пучок естественного света, идущий в воде, отражается от грани алмаза, погруженного в воду. При каком угле падения i_B отраженный свет полностью поляризован?

БИЛЕТ 3

1. Интерференция в тонких пленках. Просветление оптики.
2. Спектральные закономерности атома водорода. Сериальная формула. Опыт Франка и Герца.
3. В чем заключается принцип построения зон Френеля? Какие задачи позволяет решить метод зон Френеля?
4. Длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения черного тела, $\lambda = 0,58$ мкм. Определить энергетическую светимость (излучательность) R_e поверхности тела.

БИЛЕТ 4

1. Интерференция света. Полосы равной толщины и равного наклона. Кольца Ньютона.
2. Корпускулярно-волновой дуализм материи. Гипотеза де-Бройля. Длина волны де-Бройля. Эксперимент Дэвиссона и Джермера.
3. Почему при падении белого света на дифракционную решетку только центральный максимум белый, а остальные радужно окрашены?
4. Поперечная волна распространяется вдоль упругого шнура со скоростью $v = 15$ м/с. Период колебаний точек шнура равен 1,2 с, амплитуда $A = 2$ м. Определить 1) длину волны λ ; 2) фазу φ колебаний и смещение ξ точки, отстоящей на расстоянии $x = 45$ м от источника волн в момент $t = 4$ с; 3) разность фаз $\Delta\varphi$ колебаний двух точек, лежащих на луче и отстоящих от источника волн на расстояниях $x_1 = 20$ м и от другого - на $x_2 = 30$ м.

БИЛЕТ 5

1. Понятие о голографии.
2. Описание микрочастиц в квантовой механике. Волновая функция и ее свойства. Вероятностный характер квантовой механики. Уравнение Шредингера. (временное и стационарное).
3. Как объяснить увеличение проводимости полупроводников с ростом температуры, в то время как у металлов при этом проводимость падает?

4. Предельный угол i полного отражения пучка света на границе жидкости с воздухом равен 43° . Определить угол Брюстера i_B для падения луча из воздуха на поверхность этой жидкости.

БИЛЕТ 6

1. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля.
2. Тепловое излучение. Испускательная и поглощательная способности. Энергетическая светимость. Абсолютно черное тело. Законы теплового излучения.
3. Почему спектр поглощения атомов водорода содержит только серию Лаймана? Какие переходы соответствуют линиям этой серии?
4. На тонкий стеклянный клин в направлении нормали к его поверхности падает монохроматический свет ($\lambda = 0,6$ мкм). Определить угол α между поверхностями клина, если расстояние b между смежными интерференционными минимумами в отраженном свете равно 4 мм.

БИЛЕТ 7

1. Зоны Френеля. Свойства зон Френеля. Зонные пластинки.
2. Фотон и его характеристики. Давление света.
3. Чем отличаются энергетические состояния электронов в изолированном атоме и кристалле? Что такое запрещенные и разрешенные энергетические зоны?
4. Пучок монохроматических световых волн ($\lambda = 0,6$ мкм) падает под углом $i = 30^\circ$ на находящуюся в воздухе мыльную пленку ($n = 1,3$). При какой наименьшей толщине d пленки отраженные световые волны будут максимально ослаблены интерференцией? максимально усилены?

БИЛЕТ 8

1. Дифракция Френеля на круглом отверстии, диске.
2. Решение уравнение Шредингера для движения свободной частицы.
3. Покажите, что при выполнении закона Брюстера отраженный и преломленный лучи взаимно перпендикулярны.
4. Электрон, начальной скоростью которого можно пренебречь, прошел ускоряющую разность потенциалов U . Найти длину волны де Бройля электрона, если $U = 51$ В.

БИЛЕТ 9

1. Дифракция Фраунгофера на щели.
2. Атом водорода в квантовой механике. Квантовые числа.
3. Почему можно наблюдать интерференцию от двух лазеров и нельзя от двух электроламп?
4. Будет ли наблюдаться фотоэффект, если на поверхность серебра направить ультрафиолетовое излучение с длиной волны $\lambda = 300$ нм?

БИЛЕТ 10

1. Дифракционная решетка. Уравнение максимумов и минимумов.
2. Оптические квантовые генераторы. Основные элементы и принцип работы лазера. Характеристики лазерного излучения.
3. Сколько электронов может быть в атоме, у которого в основном состоянии заполнены K - и L -оболочки, $3s$ -подоболочка и два электрона в $3p$ -подоболочке? Что это за атом?
4. На мыльную пленку ($n = 1,3$), находящуюся в воздухе, падает нормально пучок лучей белого света. При какой наименьшей толщине d пленки отраженный свет с длиной волны $\lambda = 0,55$ мкм окажется максимально усиленным в результате интерференции.

БИЛЕТ 11

1. Исследование кристаллических структур. Уравнение Вульфа - Брэгга.
2. Соотношение неопределенностей. Прохождение электрона через щель.
3. Интенсивность естественного света, пропущенного через два поляризатора, уменьшилась вдвое. Как ориентированы поляризаторы?
4. Плоская световая волна ($\lambda = 0,5$ мкм) падает нормально на диафрагму с круглым отверстием диаметром $d = 1$ см. На каком расстоянии b от отверстия должна находиться точка наблюдения, чтобы отверстие открывало: 1) одну зону Френеля? 2) две зоны Френеля?

БИЛЕТ 12

1. Поляризация света. Способы получения поляризованного света. Закон Малюса.
2. Решение уравнение Шредингера для движения частицы в бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме.
3. Как определить наибольший порядок спектра дифракционной решетки?
4. Длина волны, на которую приходится максимум энергии в спектре излучения черного тела, $\lambda = 0,6$ мкм. Определить температуру тела.

БИЛЕТ 13

1. Поляризация света при отражении от границы раздела диэлектриков. Закон Брюстера.
2. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Туннельный эффект.
3. Объясните механизм примесной проводимости в полупроводниках.
4. Определить максимальную скорость фотоэлектронов, вырываемых с поверхности серебра: 1) ультрафиолетовым излучением с длиной волны $\lambda = 0,155$ мкм; 2) γ - излучением с длиной волны $\lambda = 2,47$ пм.

БИЛЕТ 14

1. Распространение света в анизотропной среде. Двойное лучепреломление. Вращение плоскости поляризации.
2. Зонная теория проводимости твердых тел. Металлы, полупроводники, диэлектрики.
3. Что характеризуют квантовые числа: главное, орбитальное и магнитное? Какие значения они могут принимать?
4. На мыльную пленку с показателем преломления $n = 1,33$ падает по нормали монохроматический свет длиной волны $\lambda = 0,6$ мкм. Отраженный свет в результате интерференции имеет наибольшую яркость. Какова наименьшая возможная толщина пленки?

БИЛЕТ 15

1. Понятие света. Волновая и корпускулярная природа света.
2. Строение многоэлектронных атомов. Оболочки, подоболочки. Принцип Паули. Спин. Спиновое число.
3. Будут ли отличаться интерференционные картины от двух узких близколежащих параллельных щелей при освещении их монохроматическим и белым светом?
4. Угол φ между плоскостями пропускания поляризатора и анализатора равен 45° . Во сколько раз уменьшится интенсивность света, выходящего из анализатора, если угол увеличить до 60° ?

БИЛЕТ 16

1. Интерференция в тонких пленках. Просветление оптики.
2. Собственная проводимость полупроводников. Электронная и дырочная проводимость. Энергия активации.

3. По каким признакам можно отличить спектры, полученные с помощью призмы и дифракционной решетки?
4. Давление p монохроматического света ($\lambda = 600$ нм) на черную поверхность, расположенную перпендикулярно падающим лучам, равно $0,1$ мкПа. Определить число фотонов, падающих за время $t = 1$ с на поверхность площадью $S = 1$ см².

БИЛЕТ 17

1. Метод зон Френеля. Свойства зон Френеля. Зонная пластинка.
2. Примесная проводимость полупроводников. Доноры и акцепторы. р-проводимость, n-проводимость.
3. В чем отличие характера взаимодействия фотона и электрона при фотоэффекте и в эффекте Комптона?
4. Имеются два источника, совершающие колебания в одинаковой фазе и возбуждающие в окружающей среде плоские волны одинаковой частоты и амплитуды ($A_1 = A_2 = 1$ мм). Найти амплитуду A колебаний точки среды, отстоящей от одного источника колебаний на расстоянии $x_1 = 3,5$ м и от другого - на $x_2 = 5,4$ м. Направления колебаний в рассматриваемой точке совпадают. Длина волны $\lambda = 0,6$ м.

БИЛЕТ 18

1. Дифракция Френеля на круглом отверстии, диске.
2. Атомное ядро. Состав атомного ядра. Энергия связи, дефект масс.
3. Как при заданной частоте света в фотоэффекте изменится фототок насыщения с уменьшением освещенности катода?
4. Волновая функция $\psi(x) = \sqrt{\frac{2}{l}} \sin\left(\frac{\pi}{l}x\right)$ описывает основное состояние частицы в бесконечно глубоком прямоугольном ящике шириной l . Вычислить вероятность нахождения частицы в средней трети ящика.

БИЛЕТ 19

1. Поляризация света. Способы получения поляризованного света. Закон Малюса.
2. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Постоянная распада. Активность.
3. Пользуясь моделью Бора, укажите спектральные линии, которые могут возникнуть при переходе атома водорода в состояния с $n=3$ и $n=4$.

4. На щель шириной $a = 0,05$ мм падает нормально монохроматический свет ($\lambda = 0,6$ мкм). Определить угол φ между первоначальным направлением света и направлением на четвертую темную дифракционную полосу.

БИЛЕТ 20

1. Методы получения когерентных волн (щели Юнга, бипризма, бизеркала Френеля).
2. Поглощение, спонтанное и вынужденное излучения. Принцип работы лазера.
3. Как практически можно отличить плоскополяризованный свет от естественного?
4. Рентгеновское излучение длиной волны $\lambda = 55,8$ нм рассеивается плиткой графита (Комптон-эффект). Определить длину волны λ' рассеянного под углом $\theta = 60^\circ$ к направлению падающего пучка света.

Экзамен – итоговая аттестация по дисциплине. Общая итоговая оценка по дисциплине выставляется студенту по результатам текущей успеваемости и ответа на экзамене в соответствии с положением о балльно-рейтинговой системе оценки деятельности студентов 1 курса, принятым на кафедре ТиЭФ от 24.09.2010 г.

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ

Оценка	Полнота, системность, прочность знаний	Обобщенность знаний
«5»	Изложение полученных знаний в устной, письменной или графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются единичные несущественные ошибки, самостоятельно исправляемые студентами.	Выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявление причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений; свободное оперирование известными фактами и сведениями с использованием сведений из других предметов.
«4»	Изложение полученных знаний в устной, письменной и графической форме, полное, в системе, в соответствии с требованиями учебной программы; допускаются отдельные несущественные ошибки, исправляемые студентами после указания преподавателя на них.	Выделение существенных признаков изученного с помощью операций анализа и синтеза; выявление причинно-следственных связей; формулировка выводов и обобщений, в которых могут быть отдельные несущественные ошибки; подтверждение изученного известными фактами и сведениями.
«3»	Изложение полученных знаний неполное, однако это не препятствует усвоению последующего программного –материала; допускаются отдельные существенные ошибки, исправление с помощью преподавателя.	Затруднения при выполнении существенных признаков изученного, при выявлении причинно-следственных связей и формулировке выводов.
«2»	Изложение учебного материала неполное, бессистемное, что препятствует усвоению последующей учебной информации; существенные ошибки, неисправляемые даже с помощью преподавателя.	Бессистемное выделение случайных признаков изученного; неумение производить простейшие операции анализа и синтеза; делать обобщения, выводы.
«1»	Полное незнание и непонимание учебного материала (студент не может ответить ни на один поставленный вопрос).	_____