

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Геологический факультет

УТВЕРЖДАЮ

Декан Геологического факультета
академик

_____/Д.Ю.Пущаровский/

«__» _____ 20 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Физика

Авторы-составители: профессор Казей З. А., доцент И. Ю. Гайдукова

Уровень высшего образования:

Бакалавриат

Направление подготовки:

05.03.01 Геология

Направленность (профиль) ОПОП:

Геофизика

Форма обучения:

Очная

Рабочая программа рассмотрена и одобрена
Учебно-методическим Советом Геологического факультета
(протокол № _____, _____)

Москва 20__

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Геология» (*программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки*) в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

Год (годы) приема на обучение – 2019, 2018.

© Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета.

Цели и задачи дисциплины

Цели дисциплины. Физика, дающая цельное представление о физических законах окружающего мира в их единстве и взаимосвязи и являющаяся одновременно основой и связующим звеном для большей части естественнонаучных дисциплин, создает универсальную базу для изучения обще-профессиональных и специальных дисциплин. Учебная дисциплина «Физика» преследует цели познакомить студентов с научными методами познания, дать студентам представление об основных разделах физики, познакомить их с наиболее важными экспериментальными фактами, законами, теориями, а также возможностями их применения при решении задач, возникающих в их последующей профессиональной деятельности. Дисциплина «Физика», обладающая логической стройностью и опирающаяся на обширные экспериментальные факты, позволяет сформировать у студентов подлинно научное мировоззрение и овладеть научными методами познания.

Задачи дисциплины. Задачами дисциплины «Физика» является изучение студентами физических явлений и законов физики, границ их применимости, а также применения законов в важнейших практических приложениях. Студент должен познакомиться с основными физическими величинами и физическими константами, знать их определение, смысл, способы и единицы их измерения. Кроме того, студент должен приобрести начальные навыки работы с приборами и оборудованием; навыки использования различных методик физических измерений и обработки экспериментальных данных. Студент должен уметь применять перечисленные знания, умения и навыки в других областях естественных наук.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО – базовая часть, общенаучный блок Б-ОН, «Физика», обязательный, курс I - II, семестры 1 - 3

2. Входные требования для освоения дисциплины, предварительные условия:

освоение дисциплин: модуль «Математика»: дисциплины «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения»

Дисциплина «Физика» необходима в качестве предшествующей для общепрофессиональных дисциплин по выбору «Магниторазведка», «Гравиразведка», «Электроразведка», «Сейморазведка», «Ядерная геофизика», дисциплин магистерской программы, а также для научно-исследовательской работы и выполнения выпускных квалификационных работ.

3. Результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Компетенции выпускников, формируемые (полностью или частично) при реализации дисциплины:

УК-5.Б Способность в контексте профессиональной деятельности использовать знания об основных понятиях, объектах изучения и методах естествознания

ОПК-4.Б Способность применять знания фундаментальных разделов наук о Земле, базовые знания естественно-научного и математического циклов при решении стандартных профессиональных задач

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

Знать: наиболее важные физические явления, законы и теоретические модели, а также границы их применимости для основных разделов физики; основные физические величины и физические константы - их определение, смысл, способы и единицы их измерения; применение физических законов в важнейших практических приложениях; возможности применения перечисленных знаний для решения задач возникающих в последующей профессиональной деятельности

Уметь: применять физические законы и теоретические модели к решению простых задач из различных областей физики; применять перечисленные знания для решения задач возникающих в последующей профессиональной деятельности; уметь работать с простыми

физическими приборами и оборудованием; уметь корректно обрабатывать массив данных физического эксперимента;

Владеть: навыками применения физических законов и теоретических моделей к решению задач в различных областях естественнонаучных и профильных дисциплин; навыками работы с физическими приборами и оборудованием; навыками обработки массива экспериментальных данных

4. Формат обучения – лекционные, лабораторные и семинарские занятия

5. Объем дисциплины (модуля) составляет **10** з.е., в том числе **271** академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (**137** часов – занятия лекционного типа, **49** часов – занятия лабораторного типа, **85** часов – занятия семинарского типа, **12** часов – групповые консультации, **16** часов – мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), **89** академических часа на самостоятельную работу обучающихся. Форма промежуточной аттестации – экзамен

6. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Краткое содержание дисциплины (аннотация):

В курсе "Физика", состоящем из трех частей, излагаются наиболее важные физические явления, законы и теоретические модели, а также границы их применимости.

В первой части “Механика. Молекулярная физика”, посвященной изучению основных законов классической механики, последовательно рассматриваются

- кинематика и динамика материальной точки и силы в классической механике
- динамика системы материальных точек и законы/теоремы сохранения импульса, момента импульса и механической энергии
- механика абсолютно твердого тела для случаев вращения тела относительно неподвижной оси и плоского движения
- элементы гидродинамики, включающей законы ламинарного движения идеальной и вязкой жидкости
- способы описания движения в неинерциальных системах отсчета
- кинематика и динамика колебательного процесса для свободных, затухающих и вынужденных колебаний
- кинематика и динамика волнового процесса, для волн распространяющихся в твердых телах, жидкостях и газах
- основы молекулярно кинетической теории идеальных газов: уравнение состояния, изопроцессы, распределения Максвелла и Больцмана
- на лабораторных и семинарских занятиях студенты приобретают навыки применения изученных законов к решению простых задач из раздела “Механика. Молекулярная физика”

Во второй части “Электромагнетизм. Волновая оптика”, посвященной изучению основных законов постоянного и переменного электрического и магнитного полей в вакууме и при наличии вещества, последовательно рассматриваются

- фундаментальные характеристики и законы электростатического поля в вакууме, их применение для точечного заряда и заряженных тел простой формы
- фундаментальные характеристики и законы электростатического поля при наличии проводящего и диэлектрического вещества
- фундаментальные характеристики и законы постоянного магнитного поля токов в вакууме и при наличии вещества, их применение для простых токовых систем
- характеристики и законы квазистационарных синусоидальных электрических токов, свободные и вынужденные электромагнитные колебания в цепях синусоидальных токов
- законы переменного электрического и магнитного полей, уравнения Максвелла, свойства электромагнитных волн

- явления и законы волновой оптики - интерференция, дифракция и поляризация; условия наблюдения и описание этих явлений и их практическое применение; оптические свойства вещества (оптическая анизотропия, эффекты Керра, Коттон-Мутона, Фараде, вращение плоскости поляризации) и взаимодействие света с веществом.

- на лабораторных и семинарских занятиях студенты приобретают навыки применения изученных законов к решению простых задач из раздела “Электромагнетизм. Волновая оптика”

Третья часть курса физики “**Строение вещества**” посвящена рассмотрению свойств реальных газов, жидкостей и твердых тел. Основное внимание уделено изучению кристаллического состояния. На лекциях рассматривается структура кристаллов и их классификация по химическим связям. Приведены элементы квантовой механики и квантовой статистики, необходимые для понимания физических свойств твердого тела. Дается элементарная зонная теория. Рассматривается электропроводность металлов и полупроводников, принцип действия полупроводниковых приборов, рассматриваются также магнитные свойства твердого тела. На семинарских занятиях разбираются различные примеры расчета характеристик приведенных выше свойств.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (часы)	В том числе				Самостоятельная работа обучающегося, часы * (виды самостоятельной работы – эссе, реферат, контрольная работа и пр. – указываются при необходимости)
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, часы				
		Занятия лекционного типа	Занятия лабораторного типа	Занятия семинарского типа	Всего	
Часть I. Механика. Молекулярная физика.						
Раздел 1. Кинематика и динамика материальной точки.		8	4	8	20	подготовка к семинару и лабораторным занятиям; 4 часа
Раздел 2. Динамика системы материальных точек. Механика абсолютно твердого тела. Элементы гидродинамики.		12	8	4	24	подготовка к семинару и лабораторным занятиям; 6 часов
Раздел 3. Неинерциальные системы отсчета.		6	-	4	10	подготовка к семинару, лабораторным занятиям и контрольной работе; 4 часов
Раздел 4. Кинематика и динамика колебательного процесса.		12	8	8	28	подготовка к семинару и лабораторным занятиям; 6 часов
Раздел 5. Кинематика и динамика волнового процесса.		12	4	4	20	подготовка к семинару и лабораторным занятиям; 4 часа

Раздел 6. Молекулярная физика.		8	12	8	28	подготовка к семинару, лабораторным занятиям и контрольной работе; 6 часов
<u>Промежуточная аттестация экзамен</u>						10
Итого	166	126				40
Часть II. Электромагнетизм. Волновая оптика						
Раздел 1. Электростатическое поле в вакууме		6	4	4	14	подготовка к семинару и лабораторным занятиям; 3 часа
Раздел 2. Электростатическое поле при наличии вещества		6	4	4	14	подготовка к семинару и лабораторным занятиям; 3 часов
Раздел 3. Постоянное магнитное поле токов		8	4	4	16	подготовка к семинару, лабораторным занятиям и контрольной работе; 4 часов
Раздел 4. Квазистационарные электрические токи		6	8	4	18	подготовка к семинару и лабораторным занятиям; 3 часов
Раздел 5. Электромагнитное поле и электромагнитные волны		4		2	6	подготовка к семинару и лабораторным занятиям; 3 часа
Раздел 6. Волновая оптика. Взаимодействие света с веществом		10	8	6	24	подготовка к семинару, лабораторным занятиям и контрольной работе; 4 часов
<u>Промежуточная аттестация экзамен</u>						10
Итого	122	92				30

Часть III. Строение вещества.						
Раздел 1. Реальные газы. Жидкое состояние.		6		6	12	Выполнение домашних заданий по семинарам, работа с лекционным материалом (12 часов)
Раздел 2. Кристаллическая структура, силы связей, упругие свойства твердых тел.		6		2	8	
Раздел 3. Тепловые свойства твердых тел		4		2	6	
Раздел 4. Элементы квантовой механики и атомной физики.		4		2	6	
Раздел 5. Элементы зонной теории твердых тел.		6		2	8	
Раздел 6. Электрические свойства твердых тел.		6		2	8	
Раздел 7. Магнитные свойства твердых тел		4		2	6	
Промежуточная аттестация <i>экзамен</i>						6
Итого		72		54		18

Содержание разделов дисциплины:

Часть I. Механика. Молекулярная физика.

Раздел 1. Кинематика и динамика материальной точки. Система отсчета (СО); траектория и способы ее задания; путь; перемещение. Скорость. Ускорение. Разложение ускорения на нормальное и тангенциальное. 1-й закон Ньютона; инерциальные СО; преобразования Галилея. Сила. Масса. 2-й закон Ньютона как дифференциальное уравнение движения. Примеры его решения: свободное падение; вывод формулы зависимости скорости падения шарика от времени в вязкой жидкости. Метод Ньютона приближенного решения уравнений движения. 3-й закон Ньютона.

Силы в ньютоновской механике. Виды взаимодействий. Гравитационные силы: закон всемирного тяготения; инертная и гравитационная массы; 1-я космическая скорость; вес тела. Упругая сила деформированной пружины. Деформации и напряжения. Зависимость напряжения от деформации. Простейшие упругие деформации (растяжение-сжатие, сдвиг, изгиб, кручение) и закон Гука для них. Закон Гука для деформации растяжения-сжатия в дифференциальной форме. Энергия упругой деформации. Силы сухого (покоя и скольжения) и жидкого трения.

Раздел 2. Динамика системы материальных точек. Механика абсолютно твердого тела. Элементы гидродинамики. Центр масс. Теорема о движении центра масс. Импульс. Законы изменения и сохранения импульса. Моменты силы и импульса относительно точки и оси. Законы изменения и сохранения момента импульса. Работа. Кинетическая энергия. Теорема о кинетической энергии. Потенциальные силы. Потенциальная энергия, ее вычисление для силы тяготения и упругих сил. Законы изменения и сохранения механической энергии. Потенциальные кривые. 2-я космическая скорость.

Понятие о степенях свободы. Кинематика поступательного, вращательного и плоского движений. Угловая скорость и ускорение. Теорема о движении центра масс твердого тела. Связь между моментом импульса вращающегося твердого тела и угловой скоростью. Момент инерции тела относительно оси, примеры его вычисления. Теорема Гюйгенса-Штейнера о параллельных осях. Уравнение движения для вращения тела относительно оси (уравнение моментов). Примеры проявления закона сохранения момента импульса в опытах с вращающимися телами. Кинетическая энергия вращающегося тела. Прецессия гироскопа. Динамика плоского движения.

Понятие о турбулентном, ламинарном и стационарном течениях жидкости. Поле скоростей, линии и трубки тока. Поток и циркуляция вектора скорости. Уравнение неразрывности струи. Уравнение Бернулли и следствия из него: подъемная сила крыла, эффект Магнуса. Силы внутреннего трения, формула Ньютона. Течение вязкой жидкости по трубе: распределение скоростей по сечению трубы; расход жидкости (формула Пуазейля). Число Рейнольдса.

Раздел 3. Неинерциальные системы отсчета. Сложение малых перемещений, скоростей и ускорений при поступательном и непоступательном движении систем отсчета друг относительно друга. Ускорение Кориолиса (без вывода). Уравнение движения материальной точки в равноускоренной неинерциальной СО. Силы инерции. Принцип эквивалентности. Невесомость. Уравнение движения материальной точки в равномерно вращающейся неинерциальной СО. Центробежная и кориолисова силы инерции, примеры их проявления.

Раздел 4. Кинематика и динамика колебательного процесса. Понятие о колебаниях. Гармонические колебания: формула и характеристики (период, частота, круговая частота, амплитуда, фаза). Векторная диаграмма гармонического колебания. Сложение двух гармонических колебаний: сонаправленных с одинаковыми и близкими частотами (биения) и взаимно перпендикулярных с одинаковыми и кратными частотами (фигуры Лиссажу). Понятие о разложении Фурье.

Свободные гармонические колебания (уравнение движения и его решение) для пружинного, физического и математического маятников. Обратный маятник. Колебания

связанных систем. Затухающие колебания: уравнение движения и формула (без вывода). Коэффициент, декремент и логарифмический декремент затухания. Аперидический режим. Вынужденные колебания (уравнение движения и его решение). Явление резонанса. Амплитудные и фазовые резонансные кривые.

Раздел 5. Кинематика и динамика волнового процесса. Понятие о бегущей волне. Формула волны, распространяющейся вдоль оси Ox . Дифференциальное волновое уравнение. Фронт волны, волновые поверхности, лучи. Формулы гармонической (монокроматической) плоской и сферической волн. Длина волны и волновое число. Кинематика стоячей волны.

Вывод дифференциального волнового уравнения: для продольной упругой волны в тонком стержне; для поперечной волны в натянутой струне. Стоячие волны как собственные колебания струны. Звуковые волны. Эффект Доплера. Энергия упругих волн.

Раздел 6. Молекулярная физика. Термодинамический и статистический подходы к изучению свойств системы многих частиц. Понятие о состоянии термодинамической системы. Опытные газовые законы: законы Бойля-Мариотта, Шарля, Гей-Люсака. Уравнение состояния идеального газа. Модель идеального газа.

Средние значения микроскопических величин. Поток молекул (число частиц) через поверхность. Размеры молекул. Столкновения. Длина свободного пробега молекул. Давление газа на стенку сосуда (основное уравнение молекулярно-кинетической теории газов).

Средняя скорость молекул газа. Степени свободы молекулы. Средняя энергия молекул газа. Закон о равномерном распределении энергии по степеням свободы. Распределение молекул по скоростям (распределение Максвелла) (без вывода). Барометрическая формула. Распределение молекул в поле потенциальных сил (распределение Больцмана)

Часть II. Электромагнетизм. Волновая оптика

Раздел 1. Электростатическое поле в вакууме. Электрический заряд. Закон Кулона. Напряженность. Напряженность поля точечного заряда. Принцип суперпозиции. Линии напряженности. Поток напряженности. Теорема Гаусса. Поле бесконечной равномерно заряженной плоскости и сферически симметрично распределенного заряда. Потенциал. Потенциал поля точечного заряда. Физический смысл разности потенциалов. Теорема о циркуляции напряженности. Связь между напряженностью и потенциалом.

Раздел 2. Электростатическое поле при наличии вещества. Условия равновесия зарядов на проводниках. Связь между напряженностью у поверхности проводника и поверхностной плотностью заряда. Емкость проводника. Емкость шара. Теория плоского конденсатора. Энергия электрического поля.

Электрическое поле статического диполя. Поведение диполя во внешнем электростатическом поле. Поляризация диэлектриков. Вектор поляризации, его зависимость от напряженности поля. Связь между поляризационными зарядами и вектором поляризации. Теорема Гаусса при наличии диэлектриков. Электрическое смещение (электрическая индукция). Диэлектрические восприимчивость и проницаемость вещества.

Раздел 3. Постоянное магнитное поле токов. Магнитная индукция. Элемент тока. Формула Био-Савара-Лапласа. Принцип суперпозиции. Поле прямого и кругового токов. Магнитный момент контура с током. Уравнения постоянного магнитного поля в вакууме в интегральной форме (теоремы о потоке и циркуляции магнитной индукции). Поле бесконечно длинного соленоида. Взаимодействие параллельных проводников с током. Действие магнитного поля на контур с током. Сила Лоренца. Движение зарядов в магнитном поле.

Намагничивание вещества. Вектор намагничивания, его связь с молекулярными токами. Теорема о циркуляции при наличии магнетиков. Напряженность магнитного поля, ее физический смысл. Зависимость вектора намагничивания от напряженности поля. Магнитные восприимчивость и проницаемость.

Раздел 4. Квазистационарные электрические токи. Сила и плотность тока. ЭДС и напряжение. Законы Ома для участков цепи без ЭДС и с ЭДС (в интегральной и дифференциальной формах) и для всей цепи. Сопротивление, удельное сопротивление и электропроводность. Закон Джоуля-Ленца в интегральной и дифференциальной формах. Правила Кирхгофа для разветвленных цепей.

Условие квазистационарности. Явление электромагнитной индукции. Закон Фарадея. Токи Фуко. Самоиндукция. Индуктивность. Индуктивность длинного соленоида. Взаимная индукция. Энергия магнитного поля. Основное дифференциальное уравнение цепи квазистационарного тока.

Синусоидальный ток. Законы Ома для участков цепи с R , L и C и для всей цепи. Энергия и мощность в цепи переменного тока. Действующие (эффективные) значения силы тока и напряжения. Свободные и вынужденные электромагнитные колебания в колебательном контуре. Резонанс напряжений. Добротность колебательного контура.

Раздел 5. Электромагнитное поле и электромагнитные волны. Теория Максвелла: две гипотезы Максвелла, их математические выражения. Ток смещения. Система уравнений Максвелла в интегральной форме. Общие свойства электромагнитных волн, скорость их распространения в диэлектрической среде. Показатель преломления. Формула плоской, линейно поляризованной гармонической (монохроматической) электромагнитной волны. Вектор Умова-Пойнтинга. Интенсивность. Излучение элементарного диполя.

Раздел 6. Волновая оптика. Взаимодействие света с веществом. Понятие об интерференции волн. Когерентность как условие интерференции. Интерференционная картина от двух точечных монохроматических источников света. Оптическая разность хода. Примеры интерференционных схем. Влияние размеров источника света и степени его монохроматичности на интерференционную картину. Интерференция в тонких пленках (полосы равного наклона и равной толщины). Применение интерференции света.

Понятие о дифракции. Принцип Гюйгенса-Френеля. Методы зон Френеля и векторных диаграмм. Дифракция Френеля на круглом отверстии и диске. Дифракция Фраунгофера на щели. Дифракционная решетка в монохроматическом свете. Дифракционная решетка как спектральный аппарат. Дисперсия и разрешающая способность решетки.

Свет естественный, линейно поляризованный и частично поляризованный. Закон Малюса. Оптическая анизотропия двоякопреломляющих кристаллов. Эллипсоид показателя преломления. Объяснение возникновения обыкновенной и необыкновенной вторичных волн в одноосном двоякопреломляющем кристалле. Построения Гюйгенса для одноосных кристаллов. Принцип действия простейших поляризационных устройств. Интерференция поляризованных лучей. Искусственная оптическая анизотропия. Явления Керра и Коттон-Мутона. Вращение плоскости поляризации. Эффект Фарадея. Поляризация при отражении и преломлении на границе раздела изотропных диэлектриков. Закон Брюстера.

Взаимодействие света с веществом (волновая теория). Модель осцилляторов. Элементарная теория дисперсии. Поглощение света. Рассеяние света.

Часть III. Строение вещества.

Введение. Основные понятия в молекулярно-кинетической теории и подходы при описании строения вещества. Микроскопический и макроскопический подход к изучению свойств вещества.

Раздел 1. Реальные газы. Жидкое состояние.

Реальные газы. Силы Ван-дер-Ваальса.

Зависимость потенциальной энергии $U(r)$ взаимодействия двух молекул от расстояния между их центрами. Модель реального газа. График зависимости потенциальной энергии от расстояния между молекулами. Изотермы реального газа. Насыщенный пар. Критическое состояние. Переохлажденный пар, перегретая жидкость. PV -диаграммы для реальных газов,

критические параметры, метастабильные состояния. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Связь констант Ван-дер-Ваальса с критическими параметрами. Внутренняя энергия реального газа. Модель Ван-дер-Ваальса для газов, зависимость $U(r)$, уравнение Ван-дер-Ваальса, изотермы Ван-дер-Ваальса, их сравнение с изотермами реального газа.

Жидкое состояние. Поверхностное натяжение. Поверхностная энергия. Коэффициент поверхностного натяжения. Силы поверхностного натяжения. Давление под изогнутой поверхностью жидкости. Формула Лапласа. Явления на границе жидкости и твердого тела. Краевой угол. Смачивание, несмачивание. Капиллярные явления.

Явления переноса, диффузия, теплопроводность, внутренне трение, эмпирические уравнения. Эффективный диаметр и эффективное сечение молекулы. Средняя длина свободного пробега молекулы. Уравнение диффузии в молекулярно-кинетической теории. Выражения для коэффициентов диффузии, теплопроводности и вязкости.

Раздел 2. Кристаллическая структура, силы связей, упругие свойства твердых тел.

Кристаллическое состояние. Кристаллографические системы. Индексы Миллера. Обратная решетка. Методы исследования кристаллической структуры.

Классификация кристаллов по типам сил связей. Ионные кристаллы. Ковалентные кристаллы. Металлическая связь. Молекулярные кристаллы. Кристаллы с водородными связями.

Упругие свойства кристаллов. Закон Гука. Модуль Юнга. Коэффициент Пуассона. Деформации сдвига, кручения, изгиба. Энергия упругой деформации.

Раздел 3. Тепловые свойства твердых тел

Характер теплового движения частиц в кристалле. Спектр колебаний решетки. Фононы. Температура Дебая. Теплоемкость твердого тела.

Тепловое расширение твердого тела. Теплопроводность.

Раздел 4. Элементы квантовой механики и атомной физики.

Принцип неопределенности Гейзенберга. Уравнение Шредингера. Уравнение Шредингера для стационарных состояний.

Частица в потенциальной яме. Гармонический осциллятор. Движение частицы в потенциальной яме (одномерный случай), собственные значения энергии, правила отбора.

Атом водорода. Квантовые числа. Многоэлектронный атом.

Раздел 5. Элементы зонной теории твердых тел.

Приближение слабой связи. Зоны Бриллюэна. Зонная теория твердого тела.

Приближение сильной связи.

Распределение электронов по энергетическим уровням внутри зоны. Функция распределения для вырожденного электронного газа. Функция Ферми-Дирака. Энергия Ферми.

Влияние температуры на электронное распределение вырожденного газа. Температура вырождения и теплоемкость вырожденного электронного газа. Функция распределения невырожденного электронного газа.

Зонная структура металлов, полупроводников и диэлектриков.

Раздел 6. Электрические свойства твердых тел.

Электропроводность металлов. Понятие эффективной массы. Дрейфовая скорость. Уравнение движения электрона с учетом процессов рассеяния. Электропроводность и электросопротивление металлов.

Эффект Холла. Подвижность носителей тока. Постоянная Холла. ЭДС Холла.

Полупроводники. Собственные полупроводники. Примесные полупроводники. Явления на границе полупроводников с различными типами проводимости (p - n переход).

Диэлектрики. Типы поляризации. Сегнетоэлектрики. Пьезоэлектрический эффект.

Раздел 7. Магнитные свойства твердых тел

Магнитные свойства вещества. Природа магнитных моментов, магнетизм переходных элементов. Диа-, парамагнетики. Магнитоупорядоченные вещества. Температура Кюри. Магнитные домены. Кривая намагничивания ферромагнетика. Петля гистерезиса.

Антиферромагнетики. Ферримагнетики.

Содержание практических (лабораторных занятий).

Часть I. Механика. Молекулярная физика

Определение периода колебаний физического маятника и плотности вещества, из которого он изготовлен.

Определение моментов инерции тел простой формы

Изучение упругих колебаний с помощью пружинного маятника.

Определение момента инерции маятника Максвелла.

Крест Обербека.

Определение коэффициента вязкости жидкости по скорости истечения через капилляр.

Определение коэффициента внутреннего трения жидкости по методу Стокса.

Изучение зависимости коэффициента поверхностного натяжения раствора от его концентрации.

Определение отношения теплоемкостей воздуха при постоянном давлении и объеме.

Измерение скорости звука в воздухе.

Часть II. Электромагнетизм. Волновая оптика

Электрическое поле.

Изучение свободных, затухающих и вынужденных колебаний в электрическом контуре.

Изучение поля магнитного диполя

Исследование магнитной индукции прямолинейного и кругового тока.

Измерение параметров электрических сигналов с помощью осциллографа.

Определение показателя преломления стеклянной пластинки из опытов по интерференции световых волн.

Изучение дифракционной решетки.

Изучение основных явлений поляризации света.

Содержание семинаров.

Часть I. Механика. Молекулярная Физика

1. Кинематика и динамика материальной точки
2. Законы сохранения импульса и механической энергии. Работа
3. Неинерциальные системы отсчета
4. Движение твердого тела. Применение законов сохранения для описания вращательного движения твердого тела
5. Механические колебания
6. Молекулярно кинетическая теория идеальных газов: уравнение состояния, изопроцессы, распределения Максвелла и Больцмана

Часть II. Электромагнетизм. Волновая оптика

1. Силы в электростатическом поле
2. Работа сил электростатического поля. Потенциал
3. Проводники и диэлектрики в электрическом поле. Электроемкость. Энергия электрического поля
4. Магнитное поле токов
5. Электромагнитная индукция. Самоиндукция. Взаимоиндукция
6. Электромагнитные колебания. Переменный ток.
7. Электромагнитные волны. Уравнения Максвелла
8. Интерференция, дифракция, поляризация.

Часть III. Строение вещества.

1. Потенциальная энергия взаимодействия атомов. Приближённое описание энергии взаимодействия при помощи степенных функций (потенциал Ми, потенциал Ленарда-Джонса). Силы притяжения и отталкивания.

2. Поверхностное натяжение жидкостей, добавочное давление под искривлённой поверхностью жидкости, формула Лапласа. Высота подъёма жидкости в капилляре.

3. Внутреннее трение в жидкостях и газах. Расчёт сил внутреннего трения при течении жидкости (газа) вдоль трубы. Теплопроводность. Определение зависимости температуры от пространственных координат. Диффузия.

4. Кристаллическое строение твёрдых тел. Типы кристаллических решёток. Определение индексов Миллера, межплоскостных расстояний, объёма элементарных ячеек. Векторы обратной решётки.

5. Тепловые свойства твёрдых тел. Теплоёмкость твёрдых тел при высоких и низких температурах. Расчёт количества теплоты, необходимой для нагревания тел в разных температурных интервалах.

6. Электропроводность, дрейфовая скорость, подвижность электронов. Расчёт данных величин для некоторых металлов (медь, железо, алюминий).

7. Эффект Холла. Магнитный момент атома. Определение магнитного момента атома для некоторых переходных металлов.

Рекомендуемые образовательные технологии

В программе “Физика” используется лекционно-семинарская образовательная система, дополненная лабораторными работами по основным разделам дисциплины

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине

7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Примерный перечень вопросов для проведения текущего контроля

Часть I. Механика. Молекулярная физика

1. Что такое момент инерции тела ?
2. Что такое главные оси инерции ? Центральные оси ? Привести примеры.
3. Что такое момент инерции тела относительно неподвижной оси?
4. Выведите формулы для вычисления главных центральных моментов инерции следующих тел: тонкая палочка, тонкий диск, тонкие прямоугольная и треугольная пластины, цилиндр, шар, параллелепипед.
5. Сформулируйте и докажите теорему Гюйгенса –Штейнера.
6. Что называется угловым ускорением? Как связаны между собой линейное и угловое ускорения?
7. Дайте определения момента силы относительно оси как векторной величины. Как направлен вектор момента силы по отношению к вектору силы и радиус-вектору?
8. Напишите основное уравнение динамики вращательного движения твёрдого тела - уравнение моментов, то есть связь между угловым ускорением твёрдого тела и приложенным к нему моментом внешних сил (в векторной форме и в проекции на ось вращения).
9. Какое движение в механике называется колебательным?
10. Какими параметрами характеризуется колебательное движение?
11. Какие колебания называются свободными? Запишите уравнение свободных колебаний в дифференциальной форме.
12. Какова зависимость собственной частоты колебаний математического маятника от параметров колебательной системы?
13. Затухающие колебания. Какими величинами характеризуются затухающие колебания?
14. Какой физический смысл имеет логарифмический декремент затухания?
15. Составьте уравнение вынужденных колебаний.

16. В каких случаях в жидкостях и газах возникают силы внутреннего трения (силы вязкости)?

17. Запишите формулу, связывающую силу F внутреннего трения с модулем градиента скорости $|dv/dt|$ и площадью S соприкасающихся слоев жидкости или газа (формулу Ньютона). Дайте определение коэффициента вязкости

18. Как связано внутреннее трение в газах с упорядоченным и хаотическим (тепловым) движением молекул газа?

19. Что такое изопроцессы и каким законам они подчиняются? Постройте графики этих процессов.

20. Сформулируйте первый закон термодинамики. Запишите этот закон для изобарного, изохорного, изотермического и адиабатного процессов.

21. Дайте определение удельной и молярной теплоемкости. В каких единицах СИ они измеряются?

22. Дайте определение числа степеней свободы молекулы. Чему равна величина для 1, 2 и 3-атомных молекул идеальных газов?

23. Какой процесс называется адиабатным? Выведите уравнение Пуассона.

24. Рассчитайте теоретическое значение показателя адиабаты для 1, 2 и 3-атомных молекул идеальных газов.

Часть II. Электромагнетизм. Волновая оптика

1. Дайте формулировку закона Кулона.

2. Как определяется электрическое поле и каковы его свойства?

3. Что такое линии напряженности поля и как они направлены?

4. Какое поле называется потенциальным? Как определяется потенциал электрического поля?

5. Что такое эквипотенциальная поверхность?

6. Доказать, что линии напряженности поля всегда перпендикулярны соответствующим эквипотенциальным поверхностям.

7. Доказать, что напряженность электрического поля в некоторой точке равна с обратным знаком градиенту потенциала этого поля в данной точке.

8. Как экранировать некоторое пространство от поля зарядов, расположенных вне этого пространства?

9. Какой ток называется квазистационарным?

10. Будет ли квазистационарным ток частотой 50 Гц в линии Москва-Владивосток (10000 км), ток телепередачи частотой в 100 МГц в антенне длиной 1,5 м?

11. Через омическое сопротивление R идет ток $I = I_0 \sin \omega t$. Как меняется от времени напряжение U на этом сопротивлении? Построить векторную диаграмму для U и I .

12. Через емкость C идет ток $I = I_0 \sin \omega t$. Найти, как меняется напряжение U и построить векторную диаграмму для U и I .

13. Через индуктивность L идет ток $I = I_0 \sin \omega t$. Найти, как меняется напряжение, построить векторную диаграмму для U и I .

14. Какие элементы входят в состав колебательного контура ?

15. Какими параметрами характеризуется колебательный контур?

16. Дайте определение добротности колебательного контура. В чем заключается физический смысл добротности.

17. Вывести формулу для вычисления собственной частоты колебаний идеального колебательного контура.

18. Как влияет затухание на частоту собственных колебаний контура.

19. Дайте определение логарифмического декремента затухания колебательного контура. В чем его физический смысл.

20. Дайте определение резонанса. Резонансная кривая. Влияние затухания на резонансную частоту и форму резонансной кривой.

21. Сформулируйте закон Био-Саввара. Чему равна магнитная индукция прямолинейного тока и магнитная индукция кругового тока.
22. Циркуляция вектора магнитной индукции и магнитное поле соленоида.
23. Что такое дифракция света?
24. Сформулируйте принцип Гюйгенса-Френеля. По какому принципу строятся зоны Френеля? Почему колебания, приходящие в точку наблюдения от двух соседних зон, эффективно гасятся, но погашение не полное?
25. Запишите и объясните условия главных максимумов в дифракционной картине решетки. Как выглядит дифракционная картина решетки с большим числом щелей, если излучение источника света состоит из монохроматических волн с длинами волн $\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3 < \lambda_4$?
26. Дайте определение и выведите расчетную формулу для угловой дисперсии дифракционной решетки.
27. Опишите явление двулучепреломления. В каких веществах оно наблюдается.

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется при сдаче каждым студентом выполненных лабораторных работ и проверке домашних заданий на семинарах.

Для текущего контроля студентов в ходе семестра проводятся письменные контрольные работы.

7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

Контрольная работа 1.

1. Через блок перекинута нерастяжимая и невесомая нить, на концах которой висят грузы массами m_1 и m_2 ($m_1 > m_2$). Блок начали поднимать вверх с ускорением a_0 относительно земли. Полагая, что нить скользит по блоку без трения, найти силу натяжения нити T и ускорение a_1 груза m_1 относительно земли. Определить отношение масс m_1/m_2 , при котором ускорение груза m_1 относительно земли равно нулю?

2. Маленькое тело начинает скользить по наклонной плоскости с высоты H . Наклонная плоскость составляет с горизонтом угол α . В нижней точке тело ударяется о стенку, поставленную перпендикулярно наклонной плоскости. Удар абсолют но упругий. Найти высоту подъема тела по наклонной плоскости h . Коэффициент трения между наклонной плоскостью и телом k .

Контрольная работа 2.

1. По горизонтальному столу может катиться без скольжения сплошной цилиндр массой m , на который намотана нить. К свободному концу нити, переброшенному через легкий блок, подвешен груз той же массы m . Система предоставлена самой себе. Найти ускорение груза a и силу трения $F_{\text{тр}}$ между цилиндром и столом.

2. На горизонтальной пружине укреплено тело массой $M = 10$ кг, лежащее на гладком горизонтальном столе, по которому оно может скользить без трения. В тело попадает и застревает пуля массой $m = 10$ г, летящая горизонтально со скоростью $v_0 = 500$ м/с, направленной вдоль оси пружины. Тело вместе с застрявшей в ней пулей отклоняется от положения равновесия и начинает колебаться относительно него с амплитудой $A = 10$ см. Найти период T колебаний тела.

3. В ограниченном интервале температур приращение энтропии некоторого вещества оказывается пропорциональным приращению температуры: $\Delta S = \alpha \Delta T$. Как зависит от температуры теплоёмкость C вещества в том же интервале? Найти изменение $\Delta S_{21} = S_2 - S_1$ энтропии одного моля идеального газа (отношение теплоёмкостей γ известно) при изменении объёма от V_{m1} до V_{m2} для процесса, при котором давление газа прямо пропорционально его объёму.

4. Теплоёмкость тел с простыми кристаллическими решётками изменяется вблизи абсолютного нуля по закону: $C = aT^3$, где a – константа. Найти изменение энтропии $\Delta S_{21} =$

$S_2 - S_1$ тела при изменении его температуры от значения T_1 до значения T_2 . Найти изменение $\Delta S_{21} = S_2 - S_1$ энтропии одного моля идеального газа (отношение теплоёмкостей γ известно) при изменении объёма от V_{m1} до V_{m2} для процесса, при котором давление газа прямо пропорционально его объёму.

Контрольная работа 3.

1. Тонкий стержень длиной $l_0 = 0,1$ м равномерно заряжен положительным зарядом $Q = 10^{-7}$ Кл. Найти силу F , действующую на точечный заряд $q = 2 \cdot 10^{-9}$ Кл, расположенный на продолжении стержня на расстоянии $x_0 = 0,2$ м от него. Найти напряженность поля $E(x)$ в точках, лежащих на продолжении стержня, как функцию расстояния x от стержня.

2. Тонкий стержень длиной $l = 0,1$ м заряжен равномерно зарядом $q = 1$ нКл. Определить потенциал φ электрического поля в точке, лежащей на оси стержня на расстоянии $a = 0,2$ м от ближайшего его конца.

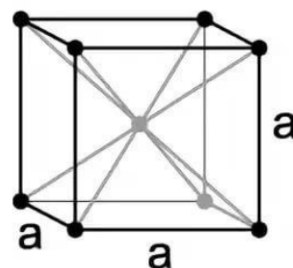
Контрольная работа 4.

1. Ток силой $I = 10$ А течет по полой тонкостенной трубе радиусом $R_2 = 0,05$ м и возвращается по сплошному проводнику радиусом $R_1 = 1 \cdot 10^{-3}$ м, проложенному по оси трубы. Найти индукции магнитного поля B_1 и B_2 в точках, лежащих соответственно на расстояниях $r_1 = 0,06$ м и $r_2 = 0,02$ м от оси трубы. Чему равен магнитный поток Φ , пронизывающий $l = 1$ м длины такой системы? Всю систему считать бесконечно длинной. Полем внутри металла пренебречь.

2. В цепи переменного тока частотой 50 Гц находятся реостат и катушка с индуктивностью $L = 0,1$ Гн. Между напряжением и силой тока наблюдается сдвиг фазы $\varphi = 30^\circ$. Чему равно сопротивление реостата R и какую емкость C нужно включить последовательно в цепь, чтобы устранить сдвиг фазы?

Контрольная работа 5.

1. Ряд металлов (Cr, α -Fe, K, Li, Mo, Na, Ta, V, W) имеет кубическую объёмно-центрированную решётку (ОЦК). Найти: 1) атомный радиус R (половину расстояния между ближайшими соседями в кристалле чистого элемента в долях ребра куба a); 2) относительную плотность f упаковки для данного типа решётки (долю объёма, занятого сферическими атомами, по сравнению с общим объёмом, который занят структурой). Соприкосновение атомов происходит вдоль диагоналей куба.



2. Рёбра элементарной ячейки простой кубической кристаллической решётки лежат на осях координат OX , OY , OZ , а начало координат O выбрано в одном из узлов решётки. Параметр решётки a известен. Некоторая плоскость S_1 отсекает на осях координат отрезки: $3a$ на оси OX , $2a$ на оси OY , $7a$ на оси OZ . Найти:

1) индексы Миллера (hkl) данной плоскости S_1 ;

2) расстояние p между данной плоскостью S_1 и параллельной плоскостью, проходящей через начало координат O (выразить искомое расстояние через параметр решётки a).

3) величины отрезков d_2 и d_3 (в единицах параметра решётки a), которые отсекает на осях координат OY и OZ соответственно плоскость S_2 ($1\ 2\ 5$), проходящая через точку A с координатами $(20a, 0, 0)$.

3. Зазор между двумя очень длинными коаксиальными цилиндрическими поверхностями заполнен однородным изотропным веществом. Радиусы поверхностей r_1 и r_2 известны. Внутренняя поверхность поддерживается при температуре T_1 , наружная поверхность при температуре T_2 ($T_2 > T_1$). Найти для области зазора между цилиндрами зависимость температуры $T(r)$ от расстояния r до оси.

4. Вычислить энергию Ферми (в электронвольтах), отсчитанную от дна зоны проводимости, при температуре $T = 0$ К для валентных электронов натрия (электронная конфигурация $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$). Оценить максимальную скорость V_{max} электронов при $T = 0$ К. Плотность натрия $\rho = 970$ кг/м³, атомная масса 23 а.е.м. Масса электрона $m_e = 9.1095 \cdot 10^{-31}$ кг, постоянная Планка $h = 6.626 \cdot 10^{-34}$ Дж*с.

Темы контрольных работ :

Контрольная работа 1. Динамика материальной точки и твердого тела. Законы сохранения.

Контрольная работа 2. Механические колебания и волны. Молекулярная физика.

Контрольная работа 3. Характеристики электрического и магнитного полей.

Контрольная работа 4. Электромагнитные колебания и оптика.

Контрольная работа 5. Расчет параметров кристаллической структуры. Явления переноса. Элементы зонной теории твердого тела.

Расчетные домашние задания:

Обработка экспериментальных результатов лабораторных работ и оценка погрешностей измерения.

7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

7.3. Типовые вопросы или иные материалы экзаменов

Билеты к экзаменам содержат по два вопроса, которые строго соответствуют содержанию разделов дисциплины (учебному плану дисциплины) за отчетный период (несколько примеров билетов приведены); студентам предоставляется полный список вопросов

Часть I. Механика. Молекулярная физика

Билет N ...

1. Центр масс. Теорема о движении центра масс системы материальных точек.
2. Свободные гармонические колебания (уравнение движения и его решение) для пружинного маятника.

Билет N ...

1. Момент инерции тела относительно оси и способы его вычисления (тонкий стержень, сплошной цилиндр).
2. Явление резонанса для вынужденных колебаний. Амплитудные и фазовые резонансные кривые.

Часть II. Электромагнетизм. Волновая оптика

Билет N ...

1. Теорема о циркуляции вектора напряженности. Связь между напряженностью и потенциалом.
2. Дифракция света. Принцип Гюйгенса-Френеля. Методы зон Френеля и векторных диаграмм.

Билет N ...

1. Индукция магнитного поля. Элемент тока. Закон Био-Савара-Лапласа.
2. Дифракционная решетка в монохроматическом свете.

Часть III. Строение вещества.

1. Реальные газы. Силы Ван-дер-Ваальса.
2. Изотермы реального газа. Насыщенный пар. Критическое состояние.
3. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Модель Ван-дер-Ваальса для газов.
4. Жидкое состояние. Поверхностное натяжение.

5. Явления на границе жидкости и твердого тела. Капиллярные явления.
6. Явления переноса, диффузия, теплопроводность, внутренне трение.
7. Уравнение диффузии в молекулярно-кинетической теории. Выражения для коэффициентов диффузии, теплопроводности и вязкости.
8. Кристаллическое состояние. Кристаллографические системы. Индексы Миллера. Обратная решетка. Методы исследования кристаллической структуры.
9. Классификация кристаллов по типам сил связей.
10. Упругие свойства кристаллов.
11. Характер теплового движения частиц в кристалле. Спектр колебаний решетки. Фононы. Температура Дебая. Теплоемкость твердого тела.
12. Тепловое расширение твердого тела. Теплопроводность.
13. Принцип неопределенности Гейзенберга. Уравнение Шредингера. Уравнение Шредингера для стационарных состояний.
14. Частица в потенциальной яме..
15. Атом водорода. Квантовые числа. Многоэлектронный атом.
16. Приближение слабой связи. Зоны Бриллюэна.
17. Зонная теория твердого тела. Приближение сильной связи.
18. Распределение электронов по энергетическим уровням внутри зоны. Функция распределения для вырожденного электронного газа. Функция Ферми-Дирака. Энергия Ферми.
19. Влияние температуры на электронное распределение вырожденного газа. Температура вырождения и теплоемкость вырожденного электронного газа. Функция распределения невырожденного электронного газа.
20. Зонная структура металлов, полупроводников и диэлектриков.
21. Электропроводность металлов. Понятие эффективной массы. Дрейфовая скорость. Электропроводность и электросопротивление металлов.
22. Эффект Холла. Подвижность носителей тока. Постоянная Холла. ЭДС Холла.
23. Полупроводники. Собственные полупроводники. Примесные полупроводники. *p-n* переход.
24. Диэлектрики. Поляризация диэлектриков. Сегнетоэлектрики.
25. Магнитные свойства вещества. Природа магнитных моментов, магнетизм переходных элементов. Диа-, парамагнетики. Магнитоупорядоченные вещества. Температура Кюри. Магнитные домены. Кривая намагничивания ферромагнетика. Петля гистерезиса.

Шкала и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине.

Результаты обучения	«Неудовлетворительно»	«Удовлетворительно»	«Хорошо»	«Отлично»
Знания: программы дисциплины “Физика”, включающей разделы “Механика. Молекулярная физика”, “Электромагнетизм. Волновая оптика”, “Строение вещества”	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Систематическое знание
Умения: применять физические законы и теоретические модели к анализу и описанию	Умения отсутствуют	Не систематическое умение, допускает неточности принципиального	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы в умении	Успешное умение в применении физических законов и теоретических

поведения физических систем		характера	использовать физические законы, допущение отдельных недочётов и их самостоятельное исправление	моделей к анализу и описанию поведения физических систем
Владения: навыками работы с физическими приборами и оборудованием; навыками корректной обработки массива экспериментальных данных	Навыки владения отсутствуют	Фрагментарное владение отдельными навыками	В целом сформированные навыки работы	Владение навыками работы в полном объеме

8. Ресурсное обеспечение:

А) Перечень основной и дополнительной литературы.

- основная литература:

1. Д. В. Белов “Механика”, уч. пособ., Физический факультет МГУ, 1998.
2. Д. В. Белов “Электромагнетизм и волновая оптика”, уч. пособие, изд. Московского университета, 1994.
3. И. В. Савельев Курс общей физики, уч. пособ. в 5 кн., Москва. Наука, Физматлит, 1998.
4. Е. П. Свирина, Л. П. Шляхина “Элементы физики твердого тела”, уч. пособие, изд. Московского университета, 1991.
5. Е. П. Свирина, Л. П. Шляхина “Электрические и магнитные свойства твердого тела”, уч. пособие, изд. Московского университета, 1997.
6. Л. Г. Антошина, С. В. Павлов, Л. А. Скипетрова. Общая физика. Сборник задач. под ред. проф. Б. А. Струкова, уч. пособие, Москва, Инфра-М, 2006.
7. И. В. Савельев. Сборник вопросов и задач по общей физике: уч. пособие для студентов вузов. СПб.: Лань, 2007.
8. А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. Задачник по физике. Изд. четвертое, М.: Физматлит, 2005.

- дополнительная литература:

1. А. Н. Матвеев “Молекулярная физика”, уч. пособие для студентов вузов. М.: Оникс: Мир и Образование, 2006.
2. А. Н. Матвеев “Электричество и магнетизм”, уч. пособие для студентов вузов. М.: Оникс: Мир и Образование, 2005.
3. А. Н. Матвеев “Атомная физика”: уч. пособие для студентов вузов. М.: Оникс: Мир и Образование, 2007.
4. П. В. Павлов, А. Ф. Хохлов. “Физика твердого тела”. уч. пособие для студентов вузов. М.: URSS : ЛЕНАНД, 2015.
5. Ч. Киттель “Элементарная физика твердого тела”, Наука. М., 1978.
6. Д. И. Сирота “Физика твёрдого тела”. Сборник задач с подробными решениями. Изд. второе, URSS, Москва. Книжный дом “Либроком”, 2009.

Б) Перечень лицензионного программного обеспечения:

пакеты программ Microsoft Office Excel, Microsoft Office PowerPoint (при необходимости)

В) -

Г) Интернет-ресурсы (открытые ресурсы):

1. описания и дополнительная литература к лабораторным работам доступна на сайте кафедры общей физики и физики конденсированного состояния физического факультета "<http://ferro.phys.msu.ru>"
2. Электронные версии курса лекций и вопросов к экзаменам доступны для студентов на сайте ЦКП физического факультета ("<http://kazei.plms.ru>")

Д) Материально-технического обеспечение:

1. для проведения лекций необходима учебная аудитория с возможностью физических демонстраций, оборудованная электрическими розетками, компьютером, проектором, экраном, учебной доской
2. для проведения семинаров необходима учебная аудитория с учебной доской
3. для проведения лабораторных работ используются специализированные помещения физического факультета, оснащенные необходимым оборудованием

9. Язык преподавания – русский.

10. Преподаватели – профессор З. А. Казей, доцент И. Ю. Гайдукова, ст. преподаватель А. Е. Богданов, доцент Т. И. Иванова

11. Авторы программы – профессор З. А. Казей, доцент И. Ю. Гайдукова