

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Проректор по учебной работе и
довузовской подготовке**

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Основы современной физики
по направлению:	Электроника и нанoeлектроника
профиль подготовки:	Микро- и нанoeлектроника Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра общей физики
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 6 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 90 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Количество контрольных работ, заданий: 4

Программу составили:

А.И. Морозов, д-р физ.-мат. наук, профессор

Ю.М. Ципенюк, д-р физ.-мат. наук, профессор

А.О. Раевский, канд. физ.-мат. наук, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры общей физики 06.03.2020

Аннотация

Освоение студентами базовых знаний в области квантовой макрофизики для дальнейшего изучения соответствующих разделов теоретической физики, а также углубленного изучения фундаментальных основ современной физики.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Освоение студентами базовых знаний в области квантовой макрофизики для дальнейшего изучения соответствующих разделов теоретической физики, а также углубленного изучения фундаментальных основ современной физики.

Задачи дисциплины

- формирование у обучающихся базовых знаний и понятий в области квантовой макрофизики и физики конденсированного состояния.
- формирование умений и навыков применять изученные теоретические законы и математические инструменты для решения задач квантовой макрофизики
- формирование общефизической культуры: умения выделять существенные физические явления и пренебрегать несущественными; умения проводить оценки физических величин; умения строить простейшие теоретические модели, описывающие физические процессы.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- ☐ фундаментальные законы и понятия квантовой макрофизики, а также границы их применимости;
- ☐ основные метода описания кристаллических структур, понятия примитивной и элементарной ячеек, ячейка Вигнера-Зейтца, понятия обратной решётки и первой зоны Бриллюэна.
- ☐ основные экспериментальные методы определения параметров кристаллических структур: рентгеновские и нейтронные методы исследования, дифракция Брэгга-Вульфа.
- ☐ способы описания коллективных возбуждений кристаллической решётки, иметь представление о фононах.
- ☐ метод описания поведения электронов в твёрдых телах: зонная теория, распределение Ферми-Дирака, модель сильной и слабой связи.
- ☐ особенности строения полупроводников, а также поведения электронов в полупроводниках.
- ☐ основные положения электронно-дырочной проводимости металлов и полупроводников.
- ☐ иметь представление о примесной проводимости в полупроводниках
- ☐ связь контактная разности потенциалов и термо ЭДС.
- ☐ базовые модели описания явлений сверхтекучести и сверхпроводимости
- ☐ положения квантового описания магнитных свойств твёрдых тел

уметь:

- ☐ применять изученные законы квантовой физики для решения конкретных задач;
- ☐ уметь пользоваться классификацией типов кристаллических решёток Браве.
- ☐ применять законы дисперсии фононов для расчёта теплоёмкости кристаллов в мках модели Дебая и Эйнштейна.
- ☐ вычислять закон дисперсии для электронов и дырок в рамках слабой и сильной связи
- ☐ определять уровень энергии ферми в металлах и полупроводниках относительно края зоны проводимости
- ☐ определять вид температурной зависимости электропроводности полупроводников
- ☐ вычислять вид вольтамперной характеристики р-п перехода
- ☐ анализировать физические задачи, выделяя существенные и несущественные аспекты явления, и на основе проведённого анализа строить упрощённые теоретические модели физических явлений;
- ☐ применять различные математические инструменты решения задач исходя из сформулированных физических законов, и проводить необходимые аналитические и численные расчёты.

владеть:

- ☐ основными методами решения задач квантовой макрофизики;
- ☐ основными математическими инструментами, характерными для задач квантовой макрофизики.

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

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Кристаллическая структура твердых тел.	2	2		6
2	Типы связей в кристаллах.	2	2		6
3	Колебания кристаллических решеток. Фононы.	2	2		6
4	Решеточная теплоемкость.	2	2		6
5	Свободный электронный газ. Энергия Ферми.	2	2		6

6	Зонный характер спектра электронов в твердых телах. Поверхность Ферми.	2	2		6
7	Кинетика электронов в металлах.	2	2		6
8	Полупроводники. Электронные и дырочные возбуждения.	2	2		6
9	Кинетика носителей заряда и свойства полупроводников.	2	2		8
10	Сверхтекучесть и сверхпроводимость.	2	2		8
11	Свойства сверхпроводников. Энергетическая щель.	4	4		8
12	Низкоразмерные системы.	2	2		6
13	Магнетизм веществ. Статика.	2	2		6
14	Динамика магнетиков. Спиновые волны.	2	2		6
Итого часов		30	30		90
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 6 (Весенний)

1. Кристаллическая структура твердых тел.

Трансляционная симметрия кристаллов, решетка Бравэ, элементарная и примитивная ячейки, базис. Рентгеновские и нейтронные методы исследования кристаллических структур, дифракция Брэгга–Вульфа, обратная решетка, зона Бриллюэна.

2. Типы связей в кристаллах.

Типы связей в кристаллах: кулоновская (ионные кристаллы), ковалентная связь (атомные кристаллы), ван-дер-ваальсовская (молекулярные кристаллы), металлическая (металлы). Энергия отталкивания, потенциал Леннарда–Джонса. Дефекты кристаллической решетки.

3. Колебания кристаллических решеток. Фононы.

Гармонические колебания одномерной решетки одинаковых атомов и решетки из чередующихся атомов двух сортов. Адиабатическое приближение. Законы дисперсии, квазиимпульс, акустические и оптические моды колебаний атомов в кристаллах. Переход к нормальным модам. Фононы как квазичастицы, аналогия с фотонами.

4. Решеточная теплоемкость.

Возбужденные состояния кристалла. Решеточная теплоемкость. Закон Дюлонга и Пти. Дебаевское приближение для акустической ветви колебаний твердого тела, температура Дебая. Модель Эйнштейна для описания оптических ветвей колебаний твердого тела. Решеточная теплопроводность, процессы переброса.

5. Свободный электронный газ. Энергия Ферми.

Модель свободных электронов. Характер распределения электронов по энергии при нуле температур, наличие максимальной энергии (энергия Ферми). Энергетическое распределение электронов при ненулевой температуре (распределение Ферми). Химпотенциал, температура вырождения. Плотность состояний на поверхности Ферми. Электронная теплоемкость и ее температурная зависимость, соотношение с решеточной теплоемкостью.

6. Зонный характер спектра электронов в твердых телах. Поверхность Ферми.

Физическая причина появления зон разрешенных и запрещенных значений энергии, модели слабой и сильной связи. Теорема Блоха. Расчет закона дисперсии в модели сильной связи. Фотонные кристаллы. Качественное объяснение различия в электропроводности изоляторов, полупроводников и металлов. Объяснение сплошного спектра излучения твердых тел. Понятие о ферми-жидкости, электроны и дырки как квазичастицы.

7. Кинетика электронов в металлах.

Электропроводность классического газа носителей в модели Друде–Лоренца. Электропроводность металла. Роль длины свободного пробега. Электронная теплопроводность. Качественное различие механизмов релаксации энергии и импульса электронов в процессах тепло- и электропроводности, закон Видемана–Франца. Правило Маттисена для электронов проводимости в металлах. Температурная зависимость рассеяния электронов на фононах и примесях и друг на друге. Закон Блоха–Грюнайзена.

8. Полупроводники. Электронные и дырочные возбуждения.

Электронные и дырочные возбуждения в полупроводниках, заряд дырок. Эффективная масса носителей заряда. Условие электро-нейтральности. Собственные и примесные полупроводники, донорные и акцепторные уровни, оценка энергии мелких примесных уровней. Температурная зависимость положения уровня Ферми в полупроводниках.

9. Кинетика носителей заряда и свойства полупроводников.

Зависимость концентрации проводящих электронов от температуры. Электропроводность полупроводников. Подвижность носителей. Температурная зависимость времени релаксации электронов. Контактные явления в полупроводниках. Равенство химпотенциалов при равновесии. (p–n)-переход во внешнем электрическом поле. Выпрямляющие свойства (p–n)-перехода.

10. Сверхтекучесть и сверхпроводимость.

Сверхтекучесть. Квантовые возбуждения в сверхтекучей жидкости, закон дисперсии. Критерий сверхтекучести Ландау. Качественное объяснение отсутствия вязкости в сверхтекучем гелии. Явление сверхпроводимости, отличие сверхпроводника от идеального металла, эффект Мейсснера, лондоновская глубина проникновения. Роль кристаллической решетки в явлении сверхпроводимости, изотоп-эффект, куперовское спаривание. Качественное подобие явлений сверхтекучести и сверхпроводимости как квантового явления в системе бозонов.

11. Свойства сверхпроводников. Энергетическая щель.

Длина когерентности, нулевой импульс пары, s-спаривание электронов. Связь длины когерентности с величиной сверхпроводящей щели. Величина щели в теории БКШ. Критическое магнитное поле. Критический ток, правило Сильсби. Квантование магнитного потока. Сверхпроводники I и II рода, понятие о вихрях магнитного потока, вихревая решетка, пиннинг. Первое и второе критические поля, оценки их величин. Высокотемпературные сверхпроводники. Области практического использования и перспективы применения сверхпроводимости.

12. Низкоразмерные системы.

Эффект Ааронова–Бома. Низкоразмерные структуры, понятие о квантовых ямах, проволоках и точках. Двухмерный характер движения электронов в структурах металл–окисел–полупроводник (МОП-структура). Квантование Ландау. Эффект Холла в полупроводниках, холловское удельное сопротивление (постоянная Холла). Квантовый эффект Холла, квантовый эталон сопротивления.

13. Магнетизм веществ. Статика.

Магнетизм веществ: диа-, пара- и ферромагнетики. Формула Ланджевена–Бриллюэна для описания намагничивания парамагнетиков. Парамагнетизм Паули и диамагнетизм Ландау. Квантовая природа ферромагнетизма. Модель Гейзенберга для описания обменного взаимодействия, энергия анизотропии. Одноионная анизотропия. Модель Изинга.

14. Динамика магнетиков. Спиновые волны.

Теория среднего поля для описания магнитного упорядочения. Закон Кюри–Вейсса. Возбуждения в спиновой системе ферромагнетиков. Классическое и квантовое описание спиновых волн. Закон $3/2$ Блоха. Магнетизм электронов проводимости. Критерий Стонера.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

- Лекционная аудитория, оснащённая мультимедийным проектором и экраном
- Оборудование для лекционных демонстраций
- Учебные аудитории, оснащённые доской
- Доступ к библиотекам учебной технической литературы, в том числе электронным, необходимый для осуществления самостоятельной работы обучающихся.
- Помещения, оборудованные для проведения лабораторных работ.
- Учебно-лабораторные установки для изучения закона Кюри-Вейса включающие в себя резонансный генератор с внешней катушкой в которой размещается образец гадолиния, печь с нагревателем, термopара, частотомер.
- Учебно-лабораторные установки для ЭПР, включающие в себя: ЛАТР для питания модуляционных катушек электромагнита, вольтметр (2 шт), высокочастотный генератор, частотомер, осциллограф, блок питания постоянных электромагнитов, колебательный контур в катушку индуктивности которого помещается образец ДФПГ.
- Учебно-лабораторные установки для определения ширины запрещённой зоны полупроводников состоящая из блока питания, осциллографа, термopары, вольтметра, измерителя добротности, печь с регулируемой мощностью нагрева
- Учебно-лабораторные установки для определения фотопроводимости полупроводников включающие в себя монохроматор, неоновую лампу, лампу накаливания и известным спектром излучения, фотоэлемента на основе CdSe и CdS, вольтметр, блок питания.
- Учебно-лабораторные установки для определения контактной разности потенциалом состоящие из: осциллографа, генератора прямоугольных импульсов, измерительного мостика Уинстона, диода, электропечи, термopары
- Учебно-лабораторные работы по изучению туннельного диода состоящие из осциллографа, блока питания, стнеда с собранными различными схемами включения туннельного диода.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Квантовая микро- и макрофизика [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Ципенюк .— М. : Физматкнига, 2006 .— 640 с.
2. Квантовая физика конденсированных систем [Текст] : учеб. пособие для вузов / Н. А. Кириченко ; М-во образования и науки РФ, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т .— М. : МФТИ, 2012 .— 200 с.
3. Основы физики конденсированного состояния [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Ю. В. Петров .— Долгопрудный : Интеллект, 2013 .— 216 с.

4. Сборник задач по общему курсу физики [Текст] : в 3 ч. Ч. 3 : Атомная и ядерная физика : учеб. пособие для вузов / под ред. В. А. Овчинкина .— 2-е изд., испр. и доп. — М. : Физматкнига, 2009 .— 512 с
5. Лабораторный практикум по общей физике [Текст] : в 3 т. Т. 3 : Квантовая физика : учеб. пособие для вузов / Ф. Ф. Игошин, Ю. А. Самарский, Ю. М. Ципенюк ; под ред. Ю. М. Ципенюка ; Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— 2-е изд., испр. и доп. — М. : Физматкнига, 2005 .— 432 с.
6. Калашников Н.П., Смондырев М.А./Основы физики в 2-х томах М.-Лаборатория знаний, 2017

Дополнительная литература

1. Введение в физику твердого тела [Текст] : учебник для вузов / Ч. Киттель ; пер. под ред. А. А. Гусева .— 2-е изд., стереотип. / перепеч. с изд. 1978 г. — М. : Медиа Стар, 2006 .— 792 с.
2. Лекции по общей физике. Строение вещества [Текст] : учеб. пособие для вузов. Ч. 1 / А. Д. Гладун ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. унт) .— М. : Изд-во МФТИ, 2007 .— 128 с.
3. Введение в квантовую физику систем многих частиц [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. А. Иванов ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Изд-во МФТИ, 2007 .— 163 с.
4. Основы физики [Текст] : Курс общей физики : в 2 т. Т. 2 : учебник для вузов. Квантовая и статистическая физика. Термодинамика / В. Е. Белонучкин, Д. А. Заикин, Ю. М. Ципенюк ; под ред. Ю. М. Ципенюка .— 2-е изд., испр. — М. : Физматлит, 2007 .— 608 с.
5. Введение в квантовую физику [Текст] : учеб. пособие для вузов / Л. Л. Гольдин, Г. И. Новикова .— М. : Наука, 1988 .— 328 с.
6. Основы квантовой физики и строение вещества [Текст] : учеб. пособие для вузов / И. П. Крылов ; М-во высш. и сред. спец. образования РСФСР , Моск. физико-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 1989 .— 184 с.
7. Общий курс физики [Текст] : в 5 т. Т. 5 : Атомная и ядерная физика : учеб. пособие для вузов / Д. В. Сивухин .— 2-е изд., стереотип. — М : Физматлит : МФТИ, 2002, 2006, 2008 .— 784 с.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

1. <http://lib.mipt.ru/catalogue/1412/?t=750> – электронная библиотека МФТИ, раздел «Общая физика»
2. http://mipt.ru/education/chair/physics/S_6/ -- материалы по курсу квантовой макрофизики

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

Литература, рекомендуемая к курсу, доступна в электронном виде (см. п. [1] перечня ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)), так что студенты могут читать учебники прямо со своих планшетов.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий курс «Основы современной физики: Квантовая макрофизика», должен не только изучить общие физические законы и понятия, но научиться применять их на практике. Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях,

– подготовку к практическим занятиям, контрольной работе, сдаче заданий, экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач. При решении задач каждое действие необходимо аргументировать, ссылаясь на известные теоретические сведения и проводить все необходимые вычисления, доводя задачу до конечного ответа. Задача считается решённой, если она содержит обоснованное решение: ссылки на применяемые физические законы и корректные выкладки, а также правильный численный ответ (если в задаче есть числовые данные).

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Электроника и нанoeлектроника
профиль подготовки:	Микро- и нанoeлектроника Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра общей физики
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 6 (весенний) - Экзамен

Разработчики:

А.И. Морозов, д-р физ.-мат. наук, профессор
Ю.М. Ципенюк, д-р физ.-мат. наук, профессор
А.О. Раевский, канд. физ.-мат. наук, доцент

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Основы современной физики» обучающийся должен:

знать:

- ☐ фундаментальные законы и понятия квантовой макрофизики, а также границы их применимости;
- ☐ основные метода описания кристаллических структур, понятия примитивной и элементарной ячеек, ячейка Вигнера-Зейтца, понятия обратной решётки и первой зоны Бриллюэна.
- ☐ основные экспериментальные методы определения параметров кристаллических структур: рентгеновские и нейтронные методы исследования, дифракция Брэгга-Вульфа.
- ☐ способы описания коллективных возбуждений кристаллической решётки, иметь представление о фононах.
- ☐ метод описания поведения электронов в твёрдых телах: зонная теория, распределение Ферми-Дирака, модель сильной и слабой связи.
- ☐ особенности строения полупроводников, а также поведения электронов в полупроводниках.
- ☐ основные положения электронно-дырочной проводимости металлов и полупроводников.
- ☐ иметь представление о примесной проводимости в полупроводниках
- ☐ связь контактная разности потенциалов и термо ЭДС.
- ☐ базовые модели описания явлений сверхтекучести и сверхпроводимости
- ☐ положения квантового описания магнитных свойств твёрдых тел

уметь:

- ☐ применять изученные законы квантовой физики для решения конкретных задач;
- ☐ уметь пользоваться классификацией типов кристаллических решёток Браве.
- ☐ применять законы дисперсии фононов для расчёта теплоёмкости кристаллов в мках модели Дебая и Эйнштейна.
- ☐ вычислять закон дисперсии для электронов и дырок в рамках слабой и сильной связи
- ☐ определять уровень энергии ферми в металлах и полупроводниках относительно края зоны проводимости
- ☐ определять вид температурной зависимости электропроводности полупроводников
- ☐ вычислять вид вольтамперной характеристики р-п перехода
- ☐ анализировать физические задачи, выделяя существенные и несущественные аспекты явления, и на основе проведённого анализа строить упрощённые теоретические модели физических явлений;
- ☐ применять различные математические инструменты решения задач исходя из сформулированных физических законов, и проводить необходимые аналитические и численные расчёты.

владеть:

- ☐ основными методами решения задач квантовой макрофизики;
- ☐ основными математическими инструментами, характерными для задач квантовой макрофизики.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков

Список экзаменационных билетов

1. Кристаллические структуры твёрдых тел, трансляционная симметрия кристаллов, решетка Бравэ, элементарная и примитивная ячейки (на примере ГЦК решетки), базис.
2. Рентгеновские и нейтронные методы исследования кристаллических структур, дифракция Вульфа-Брэгга, обратная решетка, зона Бриллюэна.
3. Типы связей в кристаллах: кулоновская (ионные кристаллы), ковалентная (обменное взаимодействие), ван-дер-ваальсовская (молекулярные кристаллы), металлическая.
4. Колебания моноатомной цепочки, понятие о квазиимпульсе. Дискретность квазиимпульса как следствие периодических граничных условий.
5. Колебания двухатомной цепочки, акустическая и оптическая ветви колебаний.
6. Нормальные колебания решетки, понятие о фононах. Фононы как квазичастицы.
7. Решеточная теплоемкость. Модель Эйнштейна
8. Решеточная теплоемкость. Модель Дебая, температура Дебая.
9. Решеточная теплоемкость двумерной и одномерной решеток.
10. Решеточная теплопроводность при высоких температурах. Процессы переброса.
11. Решеточная теплопроводность фононного газа при низких температурах.
12. Модель свободных электронов. Импульс, скорость и энергия Ферми, температура вырождения.
13. Распределение Ферми-Дирака, химпотенциал.
14. Вклад электронов в теплоемкость металлов, температурная зависимость, соотношение с решеточной теплоемкостью.
15. Физическая причина появления зон разрешённых и запрещённых значений энергии, модели слабой и сильной связи. Проводники, изоляторы, и полупроводники.
16. Понятие о ферми-жидкости, электроны и дырки как квазичастицы.
17. Электропроводность металлов. Формула Друде-Лоренца.
18. Правило Матиссена. Температурная зависимость электропроводности при высоких температурах.
19. Электропроводность металлов при низких температурах. Закон Блоха-Грюнайзена.
20. Электронная теплопроводность. Закон Видемана-Франца.
21. Электрон-дырочные возбуждения в собственном полупроводнике. Распределение электронов и дырок в зоне проводимости и в валентной зоне. Понятие об эффективной массе в законе дисперсии.
22. Зависимость концентрации электронов и дырок в невырожденном собственном полупроводнике от температуры. Статфакторы зон. Положение уровня Ферми (химпотенциала) в собственном полупроводнике.
23. Донорные и акцепторные примеси в полупроводниках. Оценка энергии мелкого донорного уровня.
24. Температурная зависимость концентрации носителей в примесных полупроводниках и правило «рычага».
25. Электропроводность собственных полупроводников.
26. Электропроводность примесных полупроводников. Рабочая область.
27. Распределение зарядов в (p-n)-переходе, возникновение потенциального барьера; (p-n)-переход во внешнем электрическом поле и его вольт-амперная характеристика.
28. Сверхтекучесть. Квантовые возбуждения в сверхтекучей жидкости, закон

дисперсии Ландау. Качественное объяснение отсутствия вязкости в сверхтекучем гелии, критическая скорость.

29. Явление сверхпроводимости, критическая температура, эффект Мейснера, лондоновская глубина проникновения.

30. Термодинамическое критическое магнитное поле, его зависимость от температуры.

31. Роль кристаллической решётки в явлении сверхпроводимости, изотоп-эффект, куперовское спаривание. Импульс и спин куперовской пары электронов. Длина когерентности, ее связь с величиной сверхпроводящей щели.

32. Критический ток в сверхпроводниках, связь его величины с критерием Ландау.

33. Квантование магнитного потока в сверхпроводниках.

34. Сверхпроводники I рода и II рода, верхнее и нижнее критические поля. Понятие о вихрях магнитного потока (вихрях Абрикосова), вихревая решётка.

35. Эффект Ааронова-Бома.

36. Квантование Ландау энергетического спектра электронов, заполнение уровней в двумерном электронном газе в магнитном поле.

37. Эффект Холла в полупроводниках, холловское удельное сопротивление (постоянная Холла). Понятие о целочисленном квантовом эффекте Холла, квантовый эталон сопротивления.

38. Диа-, пара-, ферромагнетики, антиферромагнетики и ферримагнетики.

39. Теория парамагнетизма Бриллюэна.

40. Ферромагнетизм. Гипотеза молекулярного поля Вейсса, закон Кюри-Вейсса. Модель Гейзенберга.

41. Спиновые волны. Закон дисперсии спиновых волн в ферромагнетике. Магноны. Закон $3/2$ Блоха.

42. Вещество при высоких давлениях.

4. Критерии оценивания

По результатам решения задач письменной части экзамена за каждую задачу выставляется от 0 до 3 баллов согласно следующим критериям:

3 балла: Задача решена полностью верно (т. е. приведены правильное обоснованное решение и даны ответы на все вопросы задачи). Возможно наличие мелких недочётов (описки, несущественные арифметические ошибки).

2 балла: Задача решена, ход решения задачи в целом верен, но есть существенные недочёты (ошибки в выкладках, абсурдный ответ и т.п.).

1 балл: Задача не решена, но все основные физические законы, необходимые для решения, сформулированы правильно.

0 баллов: Задача не решена или решена неверно (основные законы записаны с ошибками, либо не полностью, подход к решению задачи принципиально неверен или решение задачи не соответствует условию).

Полученные баллы суммируются и выставляется оценка за письменную часть экзамена по следующей схеме

Оценка	Баллы	Сумма баллов
отлично	10	15
	9	13-14
	8	12
хорошо	7	11
	6	9-10
	5	8

удовлетворительно	4	6-7
	3	5
неудовлетворительно	2	2-4
	1	0-1

Оценка за письменную часть экзамена определяет максимальную итоговую оценку за экзамен. В исключительных случаях, если на устной части экзамена студент демонстрирует превосходные теоретические знания и уровень понимания предмета, итоговая оценка может быть повышена, но не более, чем на 2 балла (по 10-балльной шкале).

На устном экзамене преподаватель оценивает ответ студента в целом и выставляет оценку согласно приведённым ниже критериям и изложенным выше замечаниям касательно письменной части экзамена:

Оценка **«отлично (10)»** выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и за её пределами, а также умение уверенно применять их на практике при решении сложных нестандартных задач.

Оценка **«отлично (9)»** выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и умение уверенно применять их на практике при решении нестандартных задач.

Оценка **«отлично (8)»** выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и умение уверенно применять их на практике при решении нестандартных задач, однако допустившему некоторые неточности при ответе.

Оценка **«хорошо (7)»** выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и уверенное понимание материала учебной программы и умение свободно применять физические законы на практике при решении типовых задач.

Оценка **«хорошо (6)»** выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при решении типовых задач.

Оценка **«хорошо (5)»** выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и понимание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при решении типовых задач, однако допустил при ответе ряд грубых неточностей.

Оценка **«удовлетворительно (4)»** выставляется студенту, показавшему фрагментарный характер знаний, допускавшему неточности в формулировке основных законов и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность решать простые задачи и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения.

Оценка **«удовлетворительно (3)»** выставляется студенту, показавшему сильно фрагментарный характер знаний, допускавшему грубые ошибки в формулировке основных законов и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность решать простые задачи и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения.

Оценка «**неудовлетворительно (2)**» или «**неудовлетворительно (1)**» выставляется студенту, который не знает значительную часть основного содержания программы, систематически допускает грубые ошибки при формулировании основных физических законов или не способен корректно применять физические законы даже для решения простых задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Порядок проведения устного экзамена.

Экзамен проходит в традиционной форме беседы преподавателя со студентом по теме экзаменационного билета. Экзаменационный билет содержит два пункта: «вопрос по выбору» и один вопрос из программы курса.

«Вопрос по выбору» студент готовит самостоятельно до экзамена. Выбор темы осуществляется при консультации преподавателя, ведущего семинарские задания. Вопросом по выбору может быть 1) углубленное изложение одного из пунктов программы, 2) вопрос или задача, непосредственно связанные с тематикой курса, однако не затронутые в нём, 3) изложение и защита результатов лабораторной работы, проделанной студентом в лабораторном практикуме в качестве дополнительной работы. На ответ по «вопросу по выбору» студенту предоставляется не более 10 минут.

На подготовку к ответу по билету студенту даётся от 30 до 45 минут. В течение экзамена студенту не разрешается пользоваться вычислительной техникой, литературой, заранее подготовленными собственными записями и другими материалами, относящимися к предмету, кроме экзаменационной программы курса.

В процессе ответа на «вопрос по выбору» разрешается пользоваться заранее подготовленным планом ответа и заранее подготовленными иллюстрациями/графиками, представленными в бумажном виде, либо на электронном носителе (планшет/ноутбук). Используемые графики или иллюстрации не должны содержать частей текста доклада. На подготовку ответа на «вопрос по выбору» (повторение) даётся не более 5 минут.

В процессе ответа по билету экзаменатор может задавать уточняющие вопросы. После ответа по билету экзаменатор вправе задавать студенту любые дополнительные вопросы по программе курса.

В совокупности опрос обучающегося на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Экзамен 6 семестра по кафедре общей физики
раздел «Основы современной физики»

2018/2019 г.

БИЛЕТ № 1

1. Вопрос по выбору.
2. Кристаллические структуры твёрдых тел, трансляционная симметрия кристаллов, решётка Бравэ, элементарная и примитивная ячейки (на примере ГЦК-решётки), базис.
3. Задача. Холловский датчик для измерения магнитного поля изготовлен в виде кубика, подвижность носителей тока равна $\mu = 0,5 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$. Какое напряжение надо приложить к противоположным граням кубика, чтобы в магнитном поле $H = 1 \text{ Э}$ холловская разность потенциалов была равна $V = 1 \text{ мВ}$?

Заведующий кафедрой, профессор



А.В. Максимычев

Экзамен 6 семестра по кафедре общей физики
раздел «Основы современной физики»

2018/2019 г.

БИЛЕТ № 2

1. Вопрос по выбору.
2. Рентгеновские и нейтронные методы исследования кристаллических структур, дифракция Вульфа-Брэгга, обратная решётка, зона Бриллюэна.
3. Задача. Оценить относительный вклад электронного газа в общую теплоемкость серебра при комнатной температуре. Температура Дебая у серебра равна $\Theta = 220 \text{ К}$, энергия Ферми $\varepsilon_F = 5,5 \text{ эВ}$.

Заведующий кафедрой, профессор



А.В. Максимычев

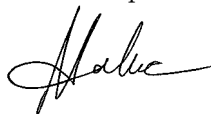
Экзамен 6 семестра по кафедре общей физики
раздел «Основы современной физики»

2018/2019 г.

БИЛЕТ № 3

1. Вопрос по выбору.
2. Типы связей в кристаллах: кулоновская (атомные кристаллы), ковалентная (обменное взаимодействие), ван-дер-ваальсовская (молекулярные кристаллы), металлическая. Потенциал Леннарда-Джонса.
3. Задача. Имеется диэлектрический кристалл с температурой Дебая $\Theta = 300 \text{ К}$. Как изменится его решеточная теплопроводность при увеличении температуры от 5 К до 15 К ? Считать, что при указанных температурах длина свободного пробега фононов ограничена размерами кристалла.

Заведующий кафедрой, профессор



А.В. Максимычев