

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»

Высшая школа общей и прикладной физики

(факультет)

УТВЕРЖДАЮ:

Декан ВШОПФ _____ Е.Д. Господчиков

«_____» _____ 2020 г.

Рабочая программа дисциплины

Физика конденсированного состояния

Уровень высшего образования

бакалавриат

Направление подготовки / специальность

03.03.02 Физика

Направленность образовательной программы

профиль: Фундаментальная физика

Квалификация (степень)

бакалавр

Форма обучения

очная

Нижний Новгород

2020

1. Место и цели дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» входит в модуль «Теоретическая физика», который относится к базовой части Блока 1 «Дисциплины, модули» ОПОП. Дисциплина является обязательной для освоения в седьмом семестре четвертого года обучения в бакалавриате.

Целями освоения дисциплины являются:

- формирование у студентов общих представлений о строении кристаллов и аморфных веществ, методах исследования и классификации кристаллических структур, а также различных физических свойствах твёрдых тел: тепловых, электрических, магнитных и других;
- формирование у студентов современных представлений об электронно-ионной структуре твёрдых тел, о свойствах волновых функций и энергетического спектра электронов в кристаллах, методах квантового описания электронных процессов в твёрдых телах;
- освоение студентами методов теоретического расчёта основных физических характеристик твёрдотельных систем;
- формирование у студентов общепрофессиональных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ОС ВО ННГУ по направлению подготовки 03.03.02 «Физика».

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций
ОПК-3 способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач (этап освоения – завершающий)	<i>31 (ОПК-3) Знать</i> типичные свойства металлов и классическую теорию свободных электронов. <i>У1 (ОПК-3) Уметь</i> классифицировать твёрдые тела. <i>В1 (ОПК-3) Владеть</i> навыком классификации твердотельных систем и навыком расчёта их физических характеристик.
ПК-1 способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин (этап освоения – завершающий)	<i>32 (ПК-1) Знать</i> основные типы твёрдых тел и их характерные свойства; основные геометрические и симметричные свойства кристаллических структур; условия конструктивной интерференции рентгеновских лучей в кристаллах и основанные на них методы определения кристаллических структур; основы зонной теории кристаллических твёрдых тел; основные положения теории кинетических явлений в твёрдых телах. <i>У2 (ПК-1) Уметь</i> пользоваться представлениями о типах кристаллического порядка, структуре и свойствах электронных состояний в твёрдых телах для расчёта их физических характеристик. <i>В2 (ПК-1) Владеть</i> навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.
ПК-4 способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин (этап освоения – базовый)	<i>У3 (ПК-4) Уметь</i> применять полученные знания при проведении научных исследований в избранной области. <i>В3 (ПК-4) Владеть</i> квантовыми статистическими методами описания твердотельных систем и использовать их при необходимости при проведении теоретических и/или экспериментальных физических исследований.

3. Структура и содержание дисциплины

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единицы, всего 144 часа, из которых 66 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 32 часа занятия семинарского типа (семинары, научно-практические занятия), 2 часа мероприятия промежуточной аттестации), 36 часов подготовка к экзамену, 42 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины (модуля)

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
Тема 1. Классификация и общие свойства твёрдых тел.	14	4	4		8	6
Тема 2. Типичные свойства металлов. Классическая теория свободных электронов.	14	4	4		8	6
Тема 3. Квантовая теория свободных электронов. Основы квантовой теории явлений переноса в металлах.	14	4	4		8	6
Тема 4. Адиабатический принцип Борна-Эренфеста и природа сил сцепления атомов в кристаллах.	14	4	4		8	6
Тема 5. Геометрические свойства кристаллических структур и дифракция рентгеновских лучей в кристаллах.	14	4	4		8	6
Тема 6. Квантовые состояния электрона в периодическом потенциале кристалла. Зонная теория твёрдых тел.	14	4	4		8	6
Тема 7. Свойства зонных электронов во внешних полях. Критерии металла и диэлектрика.	22	8	8		16	6
в т.ч. текущий контроль			4			
Промежуточная аттестация – Экзамен					2	36

Текущий контроль успеваемости осуществляется в виде решений и последующей проверки домашних контрольных работ, а также в рамках занятий практического и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций. Итоговый контроль осуществляется на экзамене.

4. Образовательные технологии

При изучении дисциплины используются современные образовательные технологии. Предусматривается широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий (разбор конкретных ситуаций, тренинги по решению практических задач) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) по дисциплине проходит в форме лекций и практических занятий, а также в виде коллективных и индивидуальных консультаций. На занятиях лекционного типа используются мультимедийные средства поддержки образовательного процесса, часть занятий проводятся в виде лекций с проблемным изложением материала. На занятиях практического типа разбираются решения задач различной степени сложности, проводятся обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в данной области. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних контрольных работ и теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы. Кроме того, студенты имеют возможность принимать участие в семинарах с представителями российских и зарубежных научных организаций, проводимых в Федеральном исследовательском центре Институт прикладной физики Российской академии наук.

Формой итогового контроля знаний студентов по дисциплине является экзамен, в ходе которого оценивается уровень теоретических знаний и навыки решения практических задач.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студента – неотъемлемая часть подготовки высококвалифицированного специалиста в соответствующей области. Ее цель – формирование у студентов способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Самостоятельная работа студентов подразумевает проработку лекционного и дополнительного материала, решение домашних контрольных работ с последующей проверкой навыков решения задач.

Проработка лекционного материала осуществляется еженедельно после проведения аудиторных занятий в рамках часов, отведенных студентам на самостоятельную работу. Кроме того, работа с лекционным и дополнительным материалом (рекомендованной литературой, приведенной в конце данной программы) проводится в период сессии при подготовке к экзамену по дисциплине.

Выполнение домашних контрольных работ осуществляется еженедельно или раз в две недели в соответствии с графиком изучения соответствующего лекционного материала и проведения практических занятий по соответствующей тематике.

Задачи для выполнения самостоятельных контрольных работ по каждому разделу дисциплины составляются преподавателем самостоятельно при ежегодном обновлении банка тестовых заданий. Количество вариантов зависит от числа обучающихся.

Типовые задачи, предлагаемые студентам в качестве домашних контрольных работ:

Задача 1.

Для двумерного электронного газа найдите зависимость химического потенциала μ от температуры T ($k_0 T \ll \varepsilon_F$), используя: а) разложение Зоммерфельда; б) точное условие независимости полного числа электронов от температуры. Объясните причину расхождений, возникающих при использовании этих двух способов расчёта. Оцените точность разложения Зоммерфельда в данном случае.

Задача 2

Эффект Пельтье в проводящих системах состоит в том, что изотермический ($T = \text{const}$) электрический ток в них сопровождается также потоком тепла: $\vec{q} = \Pi \cdot \vec{j}$, где Π - коэффициент Пельтье данного проводника. Используя кинетическое уравнение Больцмана в приближении упругих столкновений электронов с неподвижными ионами, найдите связь коэффициента Пельтье электронного газа с его дифференциальной термо-э.д.с. Q .

Задача 3

а) Найдите плотность точек решётки (в расчёте на единицу площади) в атомной плоскости, если расстояние между соседними плоскостями в семействе, которому принадлежит данная плоскость, равно d , а объём элементарной ячейки решётки равен V .
б) Найти семейство плоскостей в г.ц.к. и о.ц.к. решётках Бравэ, для которых плотность точек максимальна.

Задача 4

Найти плотность уровней энергии электронов в окрестности седловой точки, где зонная энергия имеет вид $\varepsilon(\vec{k}) = \varepsilon_0 + (\hbar^2/2) (k_x^2/m_x + k_y^2/m_y - k_z^2/m_z)$, m_x, m_y, m_z - положительные постоянные.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине, включающий:

6.1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы с указанием результатов обучения (знаний, умений, владений), характеризующих этапы их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования.

ОПК-3: способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«незачет»		«зачет»				
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»
<u>Знания</u> Знать	Отсутст-	Уровень	Мини-	Уровень	Уровень	Уровень	Уровень

	вие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	мально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u> Уметь	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u> Владеть	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)						
	«незачет»		«зачет»				
	«плохо»	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«очень хорошо»	«отлично»	«превосходно»

<u>Знания</u> Знать основные типы твёрдых тел и их характерные свойства; основные геометрические и симметричные свойства кристаллических структур; условия конструктивной интерференции рентгеновских лучей в кристаллах и основанные на них методы определения кристаллических структур; основы зонной теории кристаллических твёрдых тел; основные положения теории кинетических явлений в твёрдых телах	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Умения</u> Уметь пользоваться представлениями о типах кристаллического порядка, структуре и свойствах электронных состояний в твёрдых телах для расчёта их физических характеристик	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач
<u>Навыки</u> Владеть навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях							
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 20 %	20 – 50 %	50 – 70 %	70-80 %	80 – 90 %	90 – 99 %	100%

ПК-4: применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин

Индикаторы компетенции	Критерии оценивания (дескрипторы)	
	«незачет»	«зачет»
<u>Умения</u> Уметь применять полученные знания при проведении научных исследований в избранной области	Отсутствие умения применять полученные знания при решении стандартных задач (демонстрация грубых ошибок, противоречащих основным законам)	Продемонстрированы все основные умения. Решены стандартные задачи.
<u>Навыки</u> Владеть квантовыми статистическими методами описания	Отсутствие навыков решения стандартных задач	Продемонстрированы базовые навыки при решении типовых задач

твердотельных систем и использовать их при необходимости при проведении теоретических и/или экспериментальных физических исследований		
Шкала оценок по проценту правильно выполненных контрольных заданий	0 – 50 %	50 – 100%

6.2. Описание шкал оценивания

Итоговый контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде экзамена, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Экзамен проводится в устной форме. Устная часть экзамена заключается в ответе студентом на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующем собеседовании в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ. Практическая часть экзамена предусматривает решение двух задач по различным разделам курса.

Оценка	Уровень подготовки
Превосходно	Высокий уровень подготовки, безупречное владение теоретическим материалом. Студент дает полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит исчерпывающие, аргументированные решения всех сформулированных в билете задач. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение уверенно применять на практике приобретенные навыки, владение в полной мере методиками решения задач. 100 %-ное выполнение контрольных экзаменационных заданий
Отлично	Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Студент дает полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета; точно отвечает на дополнительные вопросы; приводит почти полные, аргументированные решения всех сформулированных в билете задач с незначительными недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение методиками решения задач. Выполнение контрольных экзаменационных заданий на 90% и выше
Очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент дает ответ на все теоретические вопросы билета с небольшими неточностями; неполно отвечает на дополнительные вопросы; приводит достаточно аргументированные и почти полные решения всех сформулированных в билете задач с незначительными недочетами; или исчерпывающее решение приводится только для одной из двух задач билета, а вторая задача решена с за-

	<p>метными недочетами. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, демонстрирующих знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 80 до 90%.</p>
Хорошо	<p>В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы билета с небольшими неточностями, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит почти полные решения всех сформулированных в билете задач с некоторыми недочетами; или исчерпывающее решение приведено только для одной из двух задач билета, а вторая задача решена со значительными погрешностями. Изложение решений и полученные ответы отличаются логической последовательностью, достаточной четкостью в выражении мыслей и не всегда полной обоснованностью выводов, демонстрирующих, в целом, знание общефизических и профессиональных дисциплин, умение применять на практике приобретенные навыки, владение основными методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 70 до 80%.</p>
Удовлетворительно	<p>Минимально достаточный уровень подготовки. Студент показывает минимальный уровень теоретических знаний, допускает ошибки при ответах на дополнительные вопросы; приводит неполные, слабо аргументированные решения всех сформулированных в билете задач. Изложение решений и полученные ответы не отличаются стройной логической последовательностью, четкостью в выражении мыслей и обоснованностью выводов, что говорит о не достаточно полном понимании общефизических и профессиональных дисциплин, умении применять на практике лишь некоторые приобретенные навыки, владении не всеми изученными методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий от 50 до 70%.</p>
Неудовлетворительно	<p>Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора; приводит решения сформулированных в билете задач с грубыми недочетами, что говорит о недостатке знаний по общефизическим и профессиональным дисциплинам, отсутствии умения применять на практике приобретенные навыки, не владение методиками решения задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий до 50%.</p>
Плохо	<p>Подготовка абсолютно недостаточная. Студент не отвечает на поставленные вопросы, демонстрирует полное непонимание сформулированных в билете задач.</p> <p>Выполнение контрольных экзаменационных заданий менее 20 %.</p>

6.3. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:

- индивидуальное собеседование,
- устные и/или письменные ответы на вопросы.

Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:

- практические контрольные задания (далее – ПКЗ), включающие одну или несколько задач.

По сложности ПКЗ разделяются на простые (стандартные) и комплексные задания. Простые ПКЗ предполагают решение в одно или два действия, применяются для оценки умений. Комплексные задания (задания повышенной сложности) требуют поэтапного решения и развернутого ответа с применением нестандартных подходов к решению. Комплексные практические задания применяются для оценки владений.

6.4. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

Теоретические вопросы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

1. Электро – и теплопроводность металлов. Закон Видемана-Франца.
2. Классическая теория металлов Друде-Лоренца.
3. Свойства идеального газа свободных электронов в основном состоянии.
4. Распределение Ферми-Дирака и условие вырождения электронного газа в металлах.
5. Температурное разложение Зоммерфельда. Расчёт удельной теплоёмкости вырожденного электронного газа.
6. Квазиклассическое определение неравновесной функции распределения свободных электронов. Кинетическое уравнение Больцмана.
7. Общая структура интеграла электрон-ионных столкновений. Принцип детального баланса.
8. Решение уравнения Больцмана в пределе малых градиентов электрического потенциала и температуры.
9. Расчёт электропроводности, теплопроводности и дифференциальной термо-э.д.с. металлов в рамках квазиклассического уравнения Больцмана.
10. Магнетизм электронного газа. Теорема Бора - Ван Леевен о нулевой магнитной восприимчивости газа классических заряженных частиц.
11. Магнитная восприимчивость больцмановского газа электронов с учётом их собственного магнитного момента. Закон Кюри.
12. Парамагнетизм вырожденного электронного газа, связанный с существованием собственного магнитного момента у электрона (парамагнетизм Паули).
13. Адиабатический принцип Борна-Эренфеста и условия разделения электронных и ионных степеней свободы.
14. Решётка Бравэ и её свойства. Простая, объёмно-центрированная и гранецентрированная кубические решётки.
15. Кристаллические структуры и решётки с базисом. Гексагональная плотноупакованная структура, структуры типа хлорида натрия, алмаза и цинковой обманки.
16. Координационное число и коэффициент компактности (упаковочный множитель). Алгоритм построения различных плотноупакованных структур.
17. Теорема о симметрии кристаллических решёток по отношению к поворотам.
18. Обратная решётка и её свойства. Обратные решётки для г.ц.к. и о.ц.к. решёток. Зоны Бриллюэна.
19. Атомные плоскости и индексы Миллера.
20. Условия конструктивной интерференции рентгеновских лучей в кристалле в формулировках Брэгга и Лауэ. Доказательство эквивалентности этих формулировок.

21. Геометрические формулировки условий конструктивной интерференции рентгеновских лучей в кристалле и экспериментальные методы определения кристаллических структур.
22. Теорема Блоха о виде волновой функции электрона в периодическом потенциале. Квазиимпульс электрона и систематика электронных состояний в схемах повторяющихся и приведённых зон.
23. Энергетические зоны и их свойства. Средняя скорость зонного электрона.
24. Плотность одноэлектронных уровней энергии в кристаллах. Особенности Ван Хо-ва.
25. Приближение слабо связанных электронов.
26. Методы построения поверхности Ферми в приближении слабо связанных электронов.
27. Приближение сильно связанных электронов (метод сильной связи).
28. Свойства энергетического спектра вблизи экстремумов энергии в зоне Бриллюэна. Тензор эффективных масс электрона.
29. Полуклассическая динамика зонных электронов в присутствии внешних полей.
30. Критерий металла и диэлектрика в рамках полуклассической модели динамики зонных электронов.

Типовые задачи для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

Для оценки сформированности компетенции ОПК-3: способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач:

Задача 1.1

Рассмотрим идеальный газ свободных электронов в случае двух ($d = 2$) измерений. Пусть число электронов на единицу площади равно n_2 . Найти: зависимость энергии Ферми от n_2 ; плотность уровней энергии на единицу площади $g_2(\varepsilon)$; и энергию основного состояния газа в расчёте на один электрон.

Задача 1.2

Рассмотрим газ свободных электронов в тонкой металлической плёнке толщиной d . Считая, что электроны находятся в прямоугольной потенциальной яме шириной d с бесконечно высокими стенками, найдите плотность уровней энергии на единицу площади плёнки $g(\varepsilon)$. При каких толщинах плёнки электронный газ, имеющий объёмную плотность n , может считаться чисто двумерным?

Для оценки сформированности компетенции ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин:

Задача 2.1

Примерно при температуре 23 K натрий переходит из о.ц.к. в г.п.у. фазу («мартенситное» превращение). Предполагая, что при таком превращении плотность остаётся постоянной, найдите постоянную решётки a для гексагональной фазы, если в кубической фазе $a = 4,23\text{ \AA}$ и отношение $\frac{c}{a}$ в г.п.у. фазе равно своему идеальному значению.

Задача 2.2

В рамках модели свободных электронов вычислить энергии Ферми для щелочных металлов: лития (Li) (плотность - $0,534 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$, атомный вес - 6,939), натрия (Na) (плотность - $0,971 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$, атомный вес - 22,99) и калия (K) (плотность - $0,86 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$, атомный вес - 39,102). Предполагается, что каждый атом высвобождает один электрон. Сравните полученные энергии с экспериментальными значениями ($\varepsilon_F = 4,72 \text{ эВ}$ для лития, $\varepsilon_F = 3,12 \text{ эВ}$ для натрия и $\varepsilon_F = 2,14 \text{ эВ}$ для калия).

Для оценки сформированности компетенции ППК-4: способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин:

Задача 3.1

Используя стационарное уравнение Больцмана в приближении времени релаксации (т.е. $St\{f\} = -\frac{f - f_0(\varepsilon)}{\tau(\varepsilon)}$, где $f_0(\varepsilon)$ - равновесная функция распределения Ферми-Дирака, $\tau(\varepsilon)$ - время релаксации, которое будем считать: а) независимым от энергии ε ; б) средним временем свободного пробега, определяемым в модели рассеяния на твердых сферах с эффективным сечением σ_{eff} и концентрацией n_i , т.е. $1/\tau(\varepsilon) = n_i \sigma_{eff} \sqrt{2\varepsilon/m}$)) для электронов в однородном электрическом поле E , найдите нелинейные по напряжённости поля поправки к закону Ома: $\delta j(E) = j(E) - \sigma \cdot E = \alpha_2 \cdot E^2 + \alpha_3 \cdot E^3 + K$, здесь j - плотность электрического тока, σ - удельная проводимость.

Задача 3.2

Измельчённые в порошок образцы трёх различных монокристаллических кристаллов анализируются с помощью метода Дебая-Шеррера. Известно, что один из образцов – гранецентрированный кубический, другой – объёмноцентрированный кубический и третий имеет структуру типа алмаза. Примерные положения первых четырёх дифракционных колец характеризуются в каждом случае следующими углами отклонения от направления падения исходного пучка (в градусах): А) 42.2, 49.2, 72.0, 87.3; В) 28.8, 41.0, 50.8, 59.6; С) 42.8, 73.2, 89.0, 115.0;. Определите кристаллическую структуру образцов А, В и С. Если длина волны падающих рентгеновских лучей равна 1.5 \AA , чему равна длина стороны условной кубической ячейки в каждом из указанных случаев?

6.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания.

Положение «О текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся при реализации образовательных программ высшего образования в ННГУ», утверждённое приказом ректора ННГУ от 29.12.2017 г. №630-ОД.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Физика конденсированного состояния»

а) основная литература:

- 1) Займан Дж. Принципы теории твёрдого тела. 2-е изд. М.: Мир, 1974.-472 с. – 72 экз.

- 2) *Киттель Ч.* Введение в физику твёрдого тела: Учебное руководство. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1978. -791 с. -39 экз.
- 3) *Абрикосов А.А.* Основы теории металлов: Учебное руководство. М.Физматлит., 2010. -600 с. — Режим доступа: ЭБС «Консультант студента» <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922110976.html>
- 4) *Павлов П.В., Хохлов А.Ф.* Физика твёрдого тела: Учебное пособие для студентов, обуч. по спец. «Физика». М.: Высшая школа, 1985. -384 с. -34 экз.
- 5) Задачи по физике твёрдого тела, под ред. *Г.Дж. Голдсмида*: Учебное руководство. М.: Наука., 1976. -33 экз.
- б) дополнительная литература:
 - 1) *Каллуей Дж.* Теория энергетической зонной структуры. М.: Мир, 1969. -360 с. -13 экз.
 - 2) *Слэтер Дж.* Диэлектрики, полупроводники, металлы. М.: Мир, 1969. -647 с. -7 экз.
 - 3) Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика в 10 т. Т.9 Статистическая физика. Ч. 2. Теория конденсированного состояния. М.Физматлит, 2004, 496 с. . — Режим доступа: ЭБС «Лань» <https://e.lanbook.com/book/2235>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории.

Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО ННГУ с учетом рекомендаций и ОПОП ВПО по направлению 03.03.02 «Физика», профиль «Фундаментальная физика».

Авторы _____

С.В. Шаров

Рецензент _____

В.И. Гавриленко

Программа одобрена на заседании методической комиссии факультета «Высшая школа общей и прикладной физики»
от _____ года, протокол № _____.

Председатель методической комиссии _____ А.М. Фейгин