МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Физический
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДАЮ:

И.о. декана
физического факультета _____ Малышев А.И.

« 7 » июня 2018г.

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Квантовая теория твердого тела
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования
бакалавриат
(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность
03.03.02 «Физика»
(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы
Физика конденсированного состояния
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Квалификация (степень)
бакалавр
(бакалавр / магистр / специалист)

Форма обучения
очно-заочная
(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород
2018
год набора 2018

1. **Место и цели дисциплины (модуля) в структуре ОПОП**

Дисциплина «Квантовая теория твердого тела» относится к обязательной для освоения в 10 семестре 5-го курса обучения дисциплиной вариативной части Б.1.В.10 ОПОП по направлению 03.03.02 «Физика» (бакалавриат, профиль «Физика конденсированного состояния»). Для усвоения данного курса в рамках образовательной программы бакалавриата по направлению «Физика» необходимо изучить модули Б1.Б.06 «Математика» и Б1.Б.10 «Теоретическая физика».

Целями освоения дисциплины являются:

владение основами современной квантовой теории твёрдого тела, без которой невозможно творческое использование в практической деятельности уже известных физических явлений в твёрдых телах; освоение студентами достижений квантовомеханического описания электронной и колебательной систем кристалла, на которых базируются термодинамические процессы, процессы токопереноса, явление сверхпроводимости в твёрдых телах.

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

Формируемые компетенции (код компетенции, этап формирования)	**Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций**
ПК-1 способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	*Знать* суть и границы применимости адиабатического приближения в разделении электронного и ядерного движений в кристалле, самосогласованных методов Хартри и Хартри-Фока, циклических граничных условий Борна-Кармана, общие свойства электронов в периодическом поле, приближения почти свободных электронов и сильной связи, принципов построения поверхности Ферми в металлах, приближения эффективной массы в законе дисперсии. Знать математическое описание колебаний решётки с применением нормальных координат и обобщенных импульсов, гармонического приближения, связь закона дисперсии колебаний со структурой и размерностью кристаллической решётки, квантование колебаний. Знать метод вторичного квантования, взаимодействие элементарных возбуждений Ферми и Бозе с применением диаграмм Фейнмана на примере взаимодействия фононов друг с другом и ангармонических эффектов, электрон-фононного взаимодействия в применении к описанию сверхпроводимости. *Уметь* объяснить суть физических явлений, рассматриваемых в курсе, связь между явлениями, представить математическое описание явлений. *Владеть* навыками применения основных методов математической и теоретической физики к решению задач квантовой физики твёрдого тела и анализу и количественной оценке экспериментальных результатов исследования свойств твёрдых тел.
ПК-4 способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	*Знать* примеры того, как рассматриваемые подходы, методы, идеи используются в экспериментальной физике твердого тела, а также границы применимости изучаемой физической теории *Уметь* применять аппарат физики твердого тела для решения задач *Владеть* навыками выполнения оценок по порядку величины

3. Структура и содержание дисциплины «Квантовая теория твердого тела»

Объем дисциплины составляет 5 зачетных единиц, всего 180 часов, из которых 35 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (33 часа занятия лекционного типа, в том числе 2 часа - мероприятия текущего контроля успеваемости, 2 часа - мероприятия промежуточной аттестации), 145 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

Содержание дисциплины

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**	
Введение	21	4	-	-	4	17
Одноэлектронное приближение	33	8	-	-	8	25
Колебания решетки	33	8	-	-	8	25
Элементарные возбуждения, квазичастицы	33	8	-	-	8	25
Сверхпроводимость	22	5	-	-	5	17
В т.ч.текущий контроль	2	2			2	
Промежуточная аттестация – **Экзамен**						

Содержание разделов дисциплины

1. **Введение.** Уравнение Шредингера кристалла. Адиабатическое приближение.
2. **Одноэлектронное приближение.** Методы Хартри и Хартри-Фока. Общие свойства электрона в периодическом поле кристалла. Теорема Блоха. Периодичность и чётность энергии электрона в К-пространстве. Циклические условия Борна-Кармана. Зоны Бриллюэна. Число разрешённых значений волнового вектора в зоне Бриллюэна. Модель почти свободных электронов. Вывод уравнения для коэффициентов разложения волновой функции по плоским волнам. Теория возмущений до второго порядка для волновых функций и энергии электрона. Условие брэгговского отражения электронных волн. Границы зон Бриллюэна. Приближение сильной связи для электронов в кристалле. sp-3 гибридизация. Изоэнергетические поверхности. Поверхность Ферми. Метод Харрисона построения поверхностей Ферми. Эффективная масса в законе дисперсии для электронов в кристалле.
3. **Колебания решётки**. Нормальные координаты. Закон дисперсии для колебаний. Простая одномерная решётка, одномерная решётка с базисом. Обобщение на трёхмерный случай. Квантование колебаний решётки. Фононы. Вторичное квантование для фононов.
4. **Элементарные возбуждения, квазичастицы**. Виды элементарных возбуждений.

Вторичное квантование для электронов. Взаимодействие между фононами. Ангармонические эффекты. Электрон-фононное взаимодействие. Рассеяние электронов.

5. **Сверхпроводимость.** Косвенное электрон-электронное взаимодействие в сверхпроводимости. Связанные электронные пары в Ферми-газе. Неустойчивость Ферми-системы при наличии притяжения электронов. Редуцированный гамильтониан БКШ. Сверхпроводник из двух частиц. Устойчивость токового состояния сверхпроводника.

4. Образовательные технологии

В соответствии с рабочей программой изучение дисциплины проходит в виде аудиторной и самостоятельной работы студентов. Аудиторные занятия по дисциплине проходят в форме лекций-бесед на которых, кроме рассмотрения соответствующих разделов и примерных задач, проводятся обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в данной области. Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних заданий и теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы. Формой итогового контроля знаний студентов является экзамен, в ходе которого оценивается уровень полученных знаний.

5. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студентов предусматривает выполнение домашних заданий, решение задач, изучение рекомендованной литературы и подготовку к экзамену.

Оценочные средства для контроля текущей успеваемости включают в себя устный опрос на занятиях, активность в обсуждении качественных вопросов и задач.

Методические указания для обучающихся

Самостоятельная работа является важнейшей составной частью учебного процесса и обязанностью каждого студента. Качество усвоения учебной дисциплины находится в прямой зависимости от способности студента самостоятельно и творчески учиться.

Цель самостоятельной работы – подготовка современного компетентного специалиста и формирование способностей и навыков к непрерывному самообразованию и профессиональному совершенствованию.

Самостоятельная работа является деятельным и творческим процессом, который способствует формированию диалектического мышления, вырабатывает высокую культуру умственного труда, совершенствует способы организации познавательной деятельности, воспитывает ответственность, целеустремленность, систематичность и последовательность в работе студентов, развивает у них бережное отношение к своему времени, способность доводить до конца начатое дело.

Изучение понятийного аппарата дисциплины

Система индивидуальной самостоятельной работы должна быть подчинена усвоению понятийного аппарата, поскольку одной из важнейших задач подготовки современного специалиста является овладение и грамотное применение профессиональной терминологией. Лучшему усвоению и пониманию дисциплины помогут материалы, указанные в списке литературы.

Изучение тем самостоятельной подготовки по учебно-тематическому плану

Особое место отводится самостоятельной проработке студентами отдельных разделов и тем по изучаемой дисциплине. Такой подход вырабатывает у студентов инициативу, стремление к увеличению объема знаний, выработке умений и навыков всестороннего овладения способами и приемами профессиональной деятельности.

Изучение вопросов очередной темы требует глубокого усвоения теоретических основ, раскрытия сущности основных категорий системы валютного регулирования, проблемных аспектов темы и анализа фактического материала.

Работа над основной и дополнительной литературой

Изучение рекомендованной литературы следует начинать с учебников и учебных пособий, затем переходить к научным монографиям и материалам периодических изданий. При этом полезно делать выписки и конспекты наиболее интересных материалов. Это способствует более глубокому осмыслению материала и лучшему его запоминанию. Кроме того, такая практика учит студентов отделять в тексте главное от второстепенного, а также позволяет проводить систематизацию и сравнительный анализ изучаемой информации, что чрезвычайно важно в условиях большого количества разнообразных по качеству и содержанию сведений. Таким образом, конспектирование – одна из основных форм самостоятельного труда, требующая от студента активно работать с учебной литературой и не ограничиваться конспектом лекций.

Студент должен уметь самостоятельно подбирать необходимую для учебной и научной работы литературу. При этом следует обращаться к предметным каталогам и библиографическим справочникам, которые имеются в библиотеках.

Для аккумуляции информации по изучаемым темам рекомендуется формировать личный архив, а также каталог используемых источников. При этом если уже на первых курсах обучения студент определяет для себя наиболее интересные сферы для изучения, то подобная работа будет весьма продуктивной с точки зрения формирования библиографии для последующего написания дипломного проекта на выпускном курсе.

Самостоятельная работа студента при подготовке к экзамену.

Контроль выступает формой обратной связи и предусматривает оценку успеваемости студентов и разработку мер по дальнейшему повышению качества подготовки современных менеджеров.

Итоговой формой контроля успеваемости студентов по учебной дисциплине «Квантовая теория твердого тела» является экзамен.

В начале семестра рекомендуется внимательно изучить перечень вопросов к экзамену по данной дисциплине, а также использовать в процессе обучения программу, другие методические материалы, разработанные кафедрой по данной дисциплине. Это позволит в процессе изучения тем сформировать более правильное и обобщенное видение студентом существа того или иного вопроса за счет:

а) уточняющих вопросов преподавателю;

б) самостоятельного уточнения вопросов на смежных дисциплинах;

в) углубленного изучения вопросов темы по учебным пособиям.

Кроме того, наличие перечня вопросов в период обучения позволит выбрать из предложенных преподавателем учебников наиболее оптимальный для каждого студента, с точки зрения его индивидуального восприятия материала, уровня сложности и стилистики изложения.

После изучения соответствующей тематики рекомендуется проверить наличие и формулировки вопроса по этой теме в перечне вопросов к экзамену, а также попытаться изложить ответ на этот вопрос. Если возникают сложности при раскрытии материала, следует вновь обратиться к лекционному материалу, материалам практических занятий, уточнить терминологический аппарат темы, а также проконсультироваться с преподавателем.

При подготовке к экзамену конструктивным является коллективное обсуждение выносимых на экзамен вопросов с сокурсниками, что позволяет повысить степень систематизации и углубления знаний.

Перед консультацией по предмету следует составить список вопросов, требующих дополнительного разъяснения преподавателем.

Изучение сайтов по темам дисциплины в сети Интернет

Ресурсы Интернет являются одним из альтернативных источников быстрого поиска требуемой информации. Их использование возможно для получения основных и дополнительных сведений по изучаемым материалам.

Вопросы для текущего контроля:

1. В каких случаях неприменимо адиабатическое приближение?
2. Укажите главный недостаток представления поля, действующего на данный электрон со стороны других электронов в форме (приближение Хартри).

$$U(r_i) = \sum_{j \neq 1} \int \frac{e^2 \left|\Psi_j(r_j)\right|}{\left|r_j - r_i\right|} dr_j$$

Как он устраняется в приближении Хартри-Фока?

3. Укажите недостатки приближения Хартри-Фока.
4. Зачем вводятся циклические граничные условия Борна-Кармана?
5. Сколько значений волнового вектора в зоне Бриллюэна?
6. Что представляет собой решетка, обратная обратной?
7. Объяснить, почему элементы четвертой группы образуют кристаллы с полупроводниковыми свойствами.
8. Объяснить, почему щелочноземельные элементы в кристаллическом состоянии являются металлами.
9. В каких случаях число разрешенных состояний в энергетической зоне превышает число атомов кристалла?
10. Определить форму зоны Бриллюэна решетки со структурой алмаза.
11. Может ли быть поверхность Ферми в полупроводниках?
12. Объяснить физический смысл эффективной массы.
13. Какую массу следует взять для электронов при их движении под действием сил инерции или гравитации?
14. Объясните, почему запрещены процессы взаимодействия фононов, описываемые произведениями операторов вторичного квантования, содержащими только операторы рождения фононов или эрмитово- сопряженными таким произведениям.
15. Объясните, почему нормальные процессы рассеяния фононов не влияют на теплосопротивление кристаллов, почему конечная величина решеточного теплосопротивления определяется процессами переброса.
16. Изобразите в схемах расширенных и приведенных зон нормальное рассеяние электронов на фононах и рассеяние с перебросом в металле в пространстве волнового вектора.
17. Объясните, почему у хорошо проводящих электрический ток металлов, таких как медь, серебро, золото, сверхпроводимость не обнаруживается даже при температурах в доли градуса Кельвина. Вместе с тем, у хуже проводящих в нормальном состоянии металлов (ртуть, свинец, ниобий) сверхпроводимость наблюдается до температуры 10К, т.е. они являются "хорошими" сверхпроводниками.
18. Укажите экспериментальные доказательства существования энергетической щели в электронном спектре в сверхпроводнике.

6. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), 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

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

Индикаторы компетенции	**Критерии оценивания (дескрипторы)**						
	плохо	**неудовлетворительно**	**удовлетворительно**	**хорошо**	**очень хорошо**	**отлично**	**превосходно**
Знания *Знать* суть и границы применимости адиабатического приближения в разделении электронного и ядерного движений в кристалле, самосогласованных методов Хартри и Хартри-Фока, циклических граничных условий Борна-Кармана, общие свойства электронов в периодическом поле, приближения почти свободных электронов и сильной связи, принципов построения поверхности Ферми в металлах, приближения эффективной массы в законе дисперсии. Знать математическое описание колебаний решётки с применением нормальных координат и обобщенных импульсов, гармонического приближения, связь закона дисперсии колебаний со структурой и размерностью кристаллической решётки, квантование колебаний. Знать метод вторичного квантования, взаимодействие элементарных возбуждений Ферми и Бозе с применением диаграмм Фейнмана на примере взаимодействия фононов друг с другом и ангармонических эффектов, электрон-фононного взаимодействия в применении к описанию сверхпроводимости.	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
Умения	Отсутствие	При решении	Продемонстрирован	Продемонст	Продемонстрирован	Продемонс	Продемонстр

Умения объяснить суть физических явлений, рассматриваемых в курсе, связь между явлениями, представить математическое описание явлений.	минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	ы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	рированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	ы все основные умения. Решены все основные задачи . Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	трированы все основные умения,решены все основные задачи с отдельными несущественнымнедочетами, выполнены все задания в полном объеме.	ированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u> Навыки применения основных методов математической и теоретической физики к решению задач квантовой физики твёрдого тела и анализу и количественной оценке экспериментальных результатов исследования свойств твёрдых тел	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-4: способность применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин

Индикаторы компетенции	**Критерии оценивания (дескрипторы)**						
	плохо	**неудовлетворительно**	**удовлетворительно**	**хорошо**	**очень хорошо**	**отлично**	**превосходно**
Знания *Знать* примеры того, как рассматриваемые подходы, методы, идеи используются в экспериментальной физике твердого тела, а также границы применимости изучаемой физической теории	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
Умения	Отсутствие	При решении	Продемонстрирован	Продемонст	Продемонстрирован	Продемонс	Продемонстр

Уметь применять аппарат физики твердого тела для решения задач	минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	ы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме.	рированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	ы все основные умения. Решены все основные задачи . Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	трированы все основные умения,решены все основные задачи с отдельными несущественнымнедочетами, выполнены все задания в полном объеме.	ированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
Навыки *Владеть* навыками выполнения оценок по порядку величины	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%

6.2. Описание шкал оценивания результатов по дисциплине "Квантовая теория твердого тела"

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 устно-письменной форме вопросов-ответов.

Оценка	**Уровень подготовки**
Превосходно	Высокий уровень подготовки, безупречное владение теоретическим материалом, студент демонстрирует творческий поход к решению нестандартных ситуаций. Студент дал полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета.
Отлично	Высокий уровень подготовки с незначительными ошибками. Студент дал полный и развернутый ответ на все теоретические вопросы билета, подтверждает теоретический материал практическими примерами из практики.
Очень хорошо	Хорошая подготовка. Студент дает ответ на все теоретические вопросы билета, но имеются неточности в определениях понятий, процессов и т.п. Студент активно работал на практических занятиях.
Хорошо	В целом хорошая подготовка с заметными ошибками или недочетами. Студент дает полный ответ на все теоретические вопросы билета, но имеются неточности в определениях понятий, процессов и т.п. Допускаются ошибки при ответах на дополнительные и уточняющие вопросы экзаменатора.
Удовлетворительно	Минимально достаточный уровень подготовки. Студент показывает минимальный уровень теоретических знаний, делает существенные ошибки, но при ответах на наводящие вопросы, может правильно сориентироваться и в общих чертах дать правильный ответ
Неудовлетворительно	Подготовка недостаточная и требует дополнительного изучения материала. Студент дает ошибочные ответы, как на теоретические вопросы билета, так и на наводящие и дополнительные вопросы экзаменатора.
Плохо	Подготовка абсолютно недостаточная. Студент не отвечает на поставленные вопросы. Студент отсутствовал на большинстве лекций.

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

Для проведения итогового контроля оценивания результатов обучения в виде знаний, умений и владений, сформированности компетенции, используется собеседование на экзамене с письменными ответами на вопросы.

6.4 Контрольные вопросы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций и (или) для итогового контроля сформированности компетенции.

1. Уравнение Шредингера для кристалла. Адиабатическое приближение.
2. Одноэлектронное приближение. Методы Хартри и Хартри-Фока.
3. Общие свойства электрона в периодическом поле кристалла. Теорема Блоха. Периодичность и чётность энергии электрона в К-пространстве.
4. Зоны Бриллюэна. Циклические условия Борна-Кармана. Число разрешённых значений волнового вектора в зоне Бриллюэна.
5. Модель почти свободных электронов. Уравнения для коэффициентов разложения волновой функции по плоским волнам.
6. Модель почти свободных электронов. Теория возмущений до второго порядка для волновых функций и энергии электрона.
7. Модель почти свободных электронов. Условие брэгговского отражения электронных волн. Границы зон Бриллюэна.
8. Приближение сильной связи для электронов в кристалле. Его применение для простой кубической решетки. SP_3 – гибридизация.
9. Изоэнергетические поверхности. Поверхность Ферми. Метод Харрисона построения поверхностей Ферми.
10. Эффективная масса в законе дисперсии для электронов в кристалле.
11. Колебания решётки. Закон дисперсии для колебаний в простой одномерной решётке.
12. Обобщенные (нормальные) координаты и импульс.
13. Квантование колебаний решётки. Фононы. Вторичное квантование для фононов.
14. Фононы в одномерной решётке с двумя атомами в элементарной ячейке.
15. Колебания решётки. Обобщение на трёхмерный случай.
16. Взаимодействие между фононами. Ангармонические эффекты.
17. Вторичное квантование для электронов.
18. Электрон-фононное взаимодействие. Рассеяние электронов на фононах.
19. Сверхпроводимость. Экспериментальные данные. Энергия спаривания.
20. Редуцированный гамильтониан БКШ. Сверхпроводник из двух частиц. Устойчивость токового состояния сверхпроводника.

6.5 Нормативные материалы, определяющие процедуры оценивания.

Положение "О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ", утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД; Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) основная литература:

1. Павлов П. В., Хохлов А. Ф. - Физика твердого тела: учебник. - М.: Высшая школа, 2000. - 494 с. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=44686
2. Шалимова, К.В. Физика полупроводников [Электронный ресурс] : учеб. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 384 с. Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/648
3. Давыдов А.С. Теория твёрдого тела. М.: Наука, 1976., 639 с. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=81097
4. Киттель Ч. Квантовая теория твёрдых тел. М.: Наука, 1967., 491 с. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=78911

б) дополнительная литература:

1. Демидов Е.С. Задачи и вопросы по квантовой теории твёрдого тела. Н. Новгород: ННГУ, 1997. 22 с http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=22204&DB=1
2. Чупрунов Е. В., Хохлов А. Ф., Фадеев М. А. - Основы кристаллографии: учеб. для вузов. - М.: Физматлит, 2004. - 500 с. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=59410&DB=1
3. Киреев П.С. Физика полупроводников.-М.: Высш. шк., 1975.-584 с. http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=397920
4. Ансельм, А.И. Введение в теорию полупроводников [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург: Лань, 2016. — 624 с. Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/71742

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Интернет-ресурс справочной и математической литературы со свободным доступом http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/solidstate.htm

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Для обучения студентов имеются в наличии учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, помещения для самостоятельной работы с возможностью выхода в интернет.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 03.03.02 – «Физика».

Автор (ы) _____ к.ф.-м.н. доцент К.А. Марков

Рецензент (ы) _____

Зав. Кафедрой ЭТТ _____ д.ф.-м.н. профессор Демидов Е.С.

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета от « 7 » июня 2018 г., протокол № б/н

Председатель учебно-методической комиссии физического факультета ННГУ _____