

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ
ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФИЗИКО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Утверждено:
на заседании кафедры теоретической физики
протокол №5 от «17» марта 2021 г.

Зав. кафедрой  Вахитов Р.М.

Согласовано:
Председатель УМК ФТИ

 /Балапанов М.Х.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Квантовая теория твердых тел. Квантовая теория магнетизма

Б1.В.01 Часть, формируемая участниками образовательных отношений

ПРОГРАММА БАКАЛАВРИАТА

Направления подготовки
03.03.02 – Физика

Профили подготовки
Цифровые технологии в физике функциональных материалов

Квалификация
бакалавр

Форма обучения
Очная

Разработчик (составитель) <u>д.ф.-м.н., проф. Екомасов Е.Г.</u> (должность, ученая степень, ученое звание)	<u></u> / <u>Екомасов Е.Г.</u>
Разработчик (составитель) <u>д.ф.-м.н., проф. Гареева З.В.</u> (должность, ученая степень, ученое звание)	<u></u> / <u>Гареева З.В.</u>

Для приема: 2021 г.

Уфа 2021

Составитель / составители: д.ф.-м.н., проф. Екомасов Е.Г., д.ф.-м.н., проф. Гареева З.В.

Рабочая программа дисциплины рассмотрена и одобрена на заседании кафедры теоретической физики протокол №5 от «17» марта 2021 г.

Заведующий кафедрой



Вахитов Р.М.

Список документов и материалов

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций
2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы
3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся) - <i>(Приложение №1)</i>
4. Фонд оценочных средств по дисциплине
4.1. Перечень индикаторов достижения компетенций с указанием планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций. Описание показателей и критериев оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), описание шкал оценивания
4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций
<i>4.3. Рейтинг-план дисциплины (при необходимости) (Приложение №2)</i>
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины
5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций

По итогам освоения дисциплины обучающийся должен достичь следующих результатов обучения:

ПК-4. Способен использовать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий

Табл. 1

Категория (группа) компетенций	Формируемая компетенция (с указанием кода)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
	ПК-4. Способен использовать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий	ПК-4-1 Знать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий	1. Знать основные понятия 2. Знать границы применимости изученных законов и методов 3. Знать основные методы решения задач
		ПК-4-2 Уметь использовать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий	1. Применять изученные понятия и законы к решению типовых задач по всем разделам курса, свободно используя при этом необходимый математический аппарат 2. Применять методы КТТТ к решению прикладных задач 3. Использовать правильную терминологию, определения, обозначения и единицы измерения величин для описания характеристик материалов электронной техники и областей их применения
		ПК-4-3.1 Владеть навыками использования фундаментальных знаний по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий	1. Владеть методикой расчета реальных физических задач 2. Владеть навыками отбора и обработки информации из различных источников (учебники, справочники, в том числе электронные, интернет-ресурсы)

2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Квантовая теория твердых тел. Квантовая теория магнетизма.» относится к Часть, формируемая участниками образовательных отношений.

Дисциплина изучается на 4 курсе в 7 и 8 семестрах.

Курс «Квантовая теория твердых тел. Квантовая теория магнетизма» позволяет на основе изучения свойств твердых тел, в особенности, полупроводниковых материалов разрабатывать новые электронные приборы и устройства.

Для усвоения дисциплины обучаемый должен обладать базовой математической и физической подготовкой в рамках университетского курса для студентов физиков и навыками владения современными вычислительными средствами. Обучаемый должен владеть основными понятиями физики. По предмету и методу своих исследований данный курс тесно связан с такими предметами как «Квантовая механика», «Теоретическая механика» и способствует формированию у будущих специалистов принципов физического и инженерного подхода к оценке возможностей использования материалов в конкретных элементах и устройствах техники.

Дисциплина «КТТТ.КТМ» призвана помочь студентам овладеть навыками и знаниями, необходимыми для выполнения научно-исследовательской работы, включая выполнение выпускной классифицированной работы, а также изучению таких дисциплин как «Термодинамика», «Физика конденсированного состояния».

Часть материала (до 15%) рекомендуется для самостоятельного изучения. Это требует развития у студентов навыков самостоятельного изучения литературы, в т.ч. электронной, а также использования интернет-ресурсов. Использование справочников и интернета необходимо и для формирования элементарной математической культуры. В частности, студентам рекомендуется сайт «математические уравнения» (<http://eqworld.ipmnet.ru>), который можно использовать как для ликвидации пробелов в школьном математическом образовании, так и для освоения новых разделов (например, дифференциальные уравнения, уравнения математической физики).

3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)

Содержание рабочей программы представлено в Приложении № 1.

4. Фонд оценочных средств по дисциплине

4.1. Перечень индикаторов достижения компетенций с указанием планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций. Описание показателей и критериев оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), описание шкал оценивания

Код и формулировка компетенции:

ПК-4. Способен использовать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	Критерии оценивания результатов обучения	
		«Не зачтено»	«Зачтено»
ПК-4-1Знать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения,	Знать основные методы решения задач	Не знает основные методы решения задач	Знает основные методы решения задач

технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий			
ПК-4-2 Уметь использовать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий	Уметь использовать правильную терминологию, определения, обозначения и единицы измерения величин для описания характеристик материалов, используемых в технике и областей их применения	Не умеет использовать правильную терминологию, определения, обозначения и единицы измерения величин для описания характеристик материалов техники и областей их применения	Умеет использовать правильную терминологию, определения, обозначения и единицы измерения величин для описания характеристик материалов техники и областей их применения
ПК-4-3.1 Владеть навыками использования фундаментальных знаний по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий	Владеть навыками отбора и обработки информации из различных источников (учебники, справочники, в том числе электронные, интернет-ресурсы).	Не владеет навыками отбора и обработки информации из различных источников (учебники, справочники, в том числе электронные, интернет-ресурсы).	Владеет навыками отбора и обработки информации из различных источников (учебники, справочники, в том числе электронные, интернет-ресурсы).

Показатели сформированности компетенции:

Критериями оценивания являются баллы, которые выставляются преподавателем за виды деятельности (оценочные средства) по итогам изучения модулей (разделов дисциплины), перечисленных в рейтинг-плане дисциплины (для экзамена: текущий контроль – максимум 40 баллов; рубежный контроль – максимум 30 баллов, поощрительные баллы – максимум 10; для зачета: текущий контроль – максимум 50 баллов; рубежный контроль – максимум 50 баллов, поощрительные баллы – максимум 10).

Шкалы оценивания:

(для экзамена:

от 45 до 59 баллов – «удовлетворительно»;

от 60 до 79 баллов – «хорошо»;

от 80 баллов – «отлично».

для зачета:

зачтено – от 60 до 110 рейтинговых баллов (включая 10 поощрительных баллов),

не зачтено – от 0 до 59 рейтинговых баллов).

4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы.

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине (модулю)	Контролируемые действия по проверке знаний, умений и владений (Оценочные средства)
ПК-4-1 Знать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий	1. Знать основные понятия КТТТ.КТМ 2. Знать границы применимости изученных законов и методов КТТТ.КТМ 3. Знать основные методы решения задач	Приём домашних работ. Контрольная работа
ПК-4-2 Уметь использовать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий	1. Применять изученные понятия и законы КТТТ.КТМ к решению типовых задач по всем разделам курса, свободно используя при этом необходимый математический аппарат 2. Применять методы КТТТ.КТМ к решению прикладных задач 3. Использовать правильную терминологию, определения, обозначения и единицы измерения КТТТ. КТМ величин для описания характеристик материалов электронной техники и областей их применения	Приём домашних работ. Контрольная работа
ПК-4-3.1 Владеть навыками использования фундаментальных знаний по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий	1. Владеть методикой расчета реальных физических задач 2. Владеть навыками отбора и обработки информации из различных источников (учебники, справочники, в том числе электронные, интернет-ресурсы)	Приём домашних работ. Контрольная работа

Вопросы к текущему и рубежному контролю по теоретическому материалу (7 семестр)

Зачет является оценочным средством для всех этапов освоения компетенций.

Примерные вопросы для зачета по КТТ:

1. Вектор трансляции, решетка, базис.
2. Двухмерные кристаллы: элементарная и примитивная ячейки, решетки Браве для двухмерных кристаллов.
3. Трехмерные кристаллы, решетки Браве для трехмерных кристаллов. Индексы Миллера и обозначение направлений.
4. Простые кристаллические структуры: кубическая гранецентрированная и гексагональная с плотной упаковкой; структура алмаза и хлористого натрия.
5. Анизотропия твердых тел. Явление полиморфизма. Классификация типов связи в кристаллах: ионные, ковалентные, металлические и молекулярные кристаллы.
6. Закон Брэгга. Экспериментальные методы исследования структуры твердых тел: метод Лауэ, метод вращения кристалла, порошковый метод.
7. Мозаичная структура. Примеси. Атомы в междоузлиях и вакансиях.

8. Равновесная концентрация дефектов. Дислокации.
9. Основные параметры упругих волн. Соотношения дисперсии для упругих волн в одномерной кристаллической цепочке, состоящей из одинаковых атомов и из атомов 2-х видов.
10. Акустические и оптические ветви колебаний для одномерных и трехмерных кристаллов. Акустические и оптические фононы.
11. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна. Закон Дюлонга-Пти, модель Эйнштейна. Дебаевская теория теплоемкости решетки.
12. Теплоемкость электронов проводимости в металлах. Теплопроводность твердых тел.
13. Свободный электронный газ Ферми (одномерный случай). Энергия Ферми, функция распределения Ферми-Дирака. Свободный электронный газ в трехмерном случае. Поверхность (сфера) Ферми.
14. Электропроводность и закон Ома. Теплопроводность металлов, закон Видемана-Франца. Причины появления запрещенных зон на основе рассмотрения брэгговского отражения электронных волн.
15. Металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории. Волновые функции электрона в периодической решетке. Схема приведенных зон. Эффективная масса электрона, дырки. Собственная проводимость. Закон действующих масс. Концентрация собственных носителей. Структура энергетических зон (на примере германия). Циклотронный резонанс в полупроводниках
16. Эффективная масса электрона, дырки. Собственная проводимость. Закон действующих масс. Концентрация собственных носителей. Структура энергетических зон (на примере германия). Циклотронный резонанс в полупроводниках.

Примерные вопросы для зачета по КТМ (8 семестр)

1. Магнитные моменты атомов и ионов. Спиновый и орбитальный магнитные моменты электронов
2. Магнитные свойства 3d и 4f переходных элементов .
3. . Магнитомеханические эффекты, гиромагнитное отношение
4. Теорема Бора – ван Левен
5. Магнитный момент атома. Магнетон Бора. Гиромагнитное соотношение.
6. Спектроскопические термы, электронная конфигурация слоя, мультиплеты
7. Принцип Паули, правила Хунда, связь Рассела Саундерса.
8. Приближение самосогласованного поля, эффективного магнитного поля
9. Эффект Зеемана (простой, сложный)
10. Эффект Пашена Бака
11. Электронный парамагнитный резонанс
12. Основные положения координационной теории Вернера
13. Гамильтониан кристаллического поля, метод эквивалентных операторов., параметры Стевенса.
14. Спектрохимический ряд лигандов.
15. Основные положения теории кристаллического поля
16. Теорема Крамерса. Крамерсовы и некрамерсовы ионы
17. Эффект Яна Теллера.
18. Элементы теории симметрии. Оси и плоскости симметрии
19. Пространственные и точечные группы симметрии кристаллов.
20. Символы Шенфлера и Германа Могена. Примеры пространственных групп.
21. Позиции кратных точек. Символы Вайкоффа
22. Магнитные группы симметрии. Магнитные подрешетки и их локальная намагниченность
23. Спиновый гамильтониан. Метод спи-гамильтониана
24. Виды обменных взаимодействия. Гамильтониан Гейзенберга – Дирака – Ван Флека
25. Теорема Мермина – Вагнера.
26. Магнитооптические явления. Поглощение света. Правила отбора
27. Уравнение Дирака. Релятивистские и нерелятивистские слагаемые в магнитном гамильтониане
28. Обратные магнитооптические эффекты
29. Модель Стокера, понятия спин-поляризованных токов
30. Спин – орбитальные эффекты. Взаимодействие Дзялошинского – Мори, взаимодействие Рашбы

Перевод оценки из 100-балльной в четырехбалльную производится следующим образом:

- отлично – от 80 до 110 баллов (включая 10 поощрительных баллов);
- хорошо – от 60 до 79 баллов;
- удовлетворительно – от 45 до 59 баллов;
- неудовлетворительно – менее 45 баллов.

Критерии оценки (в баллах):

- **25-30 баллов** выставляется студенту, если студент дал полные, развернутые ответы на все

теоретические вопросы билета, продемонстрировал знание функциональных возможностей, терминологии, основных элементов, умение применять теоретические знания при выполнении практических заданий. Студент без затруднений ответил на все дополнительные вопросы. Практическая часть работы выполнена полностью без неточностей и ошибок;

- **17-24 баллов** выставляется студенту, если студент раскрыл в основном теоретические вопросы, однако допущены неточности в определении основных понятий. При ответе на дополнительные вопросы допущены небольшие неточности. При выполнении практической части работы допущены несущественные ошибки;

- **10-16 баллов** выставляется студенту, если при ответе на теоретические вопросы студентом допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий. Логика и полнота ответа страдают заметными изъянами. Заметны пробелы в знании основных методов. Теоретические вопросы в целом изложены достаточно, но с пропусками материала. Имеются принципиальные ошибки в логике построения ответа на вопрос. Студент не решил задачу или при решении допущены грубые ошибки;

- **1-10 баллов** выставляется студенту, если ответ на теоретические вопросы свидетельствует о непонимании и крайне неполном знании основных понятий и методов. Обнаруживается отсутствие навыков применения теоретических знаний при выполнении практических заданий. Студент не смог ответить ни на один дополнительный вопрос.

Комплект тестов (тестовых заданий)

по дисциплине «Квантовая теория твердого тела. Квантовая теория магнетизма.»

1. Сопоставьте ...

1. Ионная связь	а. связь осуществляющаяся посредством классической электронной пары, электрон курсирует между двумя атомами.
2. Ковалентная связь	б. связь имеющее сходство с ковалентной, т.к. в основе лежит обобществление внешних валентных электронов – только атомов всей решетки.
3. Металлическая связь	с. связь, обусловленная в основном электростатическим взаимодействием противоположно заряженных ионов

Ответ: 1-с, 2-а, 3-б

2. Уравнение Лауэ

$$\begin{array}{l}
 \vec{a}\vec{S} = 2ca\sin\theta = h\lambda \\
 \text{a) } \vec{b}\vec{S} = 2b\beta\sin\theta = k\lambda \\
 \vec{c}\vec{S} = 2a\gamma\sin\theta = l\lambda \\
 \vec{a}\vec{S} = 2aa\sin\theta = h\lambda \\
 \text{b) } \vec{b}\vec{S} = 2b\beta\sin\theta = k\lambda \\
 \vec{c}\vec{S} = 2c\gamma\sin\theta = l\lambda \\
 \vec{a}\vec{S} = 2aa\cos\theta = h\lambda \\
 \text{c) } \vec{b}\vec{S} = 2b\beta\cos\theta = k\lambda \\
 \vec{c}\vec{S} = 2c\gamma\cos\theta = l\lambda \\
 \vec{a}\vec{S} = 2aa\sin\theta = 0 \\
 \text{d) } \vec{b}\vec{S} = 2b\beta\sin\theta = 0 \\
 \vec{c}\vec{S} = 2c\gamma\sin\theta = 0
 \end{array}$$

Ответ: б

3. Обычным методом описания положения плоскости в кристаллической решетке являются

- 1 метод Крамера
- 2 метод Гаусса
- 3 индексы Миллера
- 4 индексы Хокинга

Ответ: с

4. фазовая скорость

$$\begin{array}{l}
 \text{a) } \omega_{\phi} = x = hc \\
 \text{b) } \omega_{\phi} = \frac{\omega}{q} = c\lambda \\
 \text{c) } \omega_{\phi} = x = \frac{\omega}{c} = hc \\
 \text{d) } \omega_{\phi} = x = \frac{\omega}{q} = v\lambda
 \end{array}$$

Ответ: d

5. Число фононов в твердом теле не постоянно. Фононов ...

- a) тем больше, чем ниже температура, а при приближении их к нулю их число также стремится к нулю.
- b) тем больше, чем ниже температура, а при приближении их к нулю их число стремится к бесконечности.
- c) тем больше, чем выше температура, а при приближении их к нулю их число также стремится к нулю.
- d) тем больше, чем выше температура, а при приближении их к нулю их число стремится к бесконечности.

Ответ: с

6. Зона Бриллюэна представляет собой ...

- a) ячейку Вигнера – Зейтца в обратной решетке.
- b) индекс Миллера в обратной решетке.
- c) ячейку Хокинга
- d) зону Бриллюэна

Ответ : а

7. Первая зона Бриллюэна является ...

- a) зоной с наименьшим объемом, она полностью ограничена плоскостями, которые делят пополам перпендикулярные к ним векторы обратной решетки, проведенные изначала координат
- b) является зоной с наименьшим объемом, она полностью ограничена плоскостями, которые делят пополам параллельные к ним векторы обратной решетки, проведенные к нулевым координатам
- c) является зоной с наибольшим объемом не ограниченной плоскостями.
- d) является зоной с наибольшим объемом, но при этом ограниченной плоскостями, которые делят пополам перпендикулярные к ним векторы обратной решетки, проведенные изначала координат

Ответ: а

8. «Волны» частиц описывают волновыми функциями, которые выглядят следующим образом:

- a) $\psi = A(kx - \omega t)$
- b) $\psi = Aei(kx - \omega t)$
- c) $\psi = Aei(k - \omega t)$
- d) $\psi = A(k + \omega t)$

Ответ: b

9. Какое из следующих утверждений верно:

- a) Ферми – газ есть система взаимодействующих электронов, подчиняющихся принципу Луи де-Бройля, та же система с взаимодействием называется Ферми – жидкостью, теорию которую разработал Ландау.
- b) Ферми – газ есть система взаимодействующих электронов, подчиняющихся принципу Бора, та же система с взаимодействием называется Ферми – твердое тело , теорию которую разработал Эйнштейн .
- c) Ферми – газ есть система невзаимодействующих электронов, подчиняющихся принципу Паули, та же система с взаимодействием называется Ферми – жидкостью, теорию которую разработал Ландау.
- d) Ферми – газ есть система невзаимодействующих электронов, подчиняющихся принципу Паули, та же система с взаимодействием называется Ферми – жидкостью, теорию которую разработал Луи де-Бройль.

Ответ: с

$$10. \frac{K}{\sigma} = \frac{\pi^2 k_B^2 T n \tau / 3m}{ne^2 \tau / m} = \frac{\pi^2}{3} \left(\frac{k_B}{e} \right)^2 T - \text{закон Видемана-Франца.}$$

Постоянную $L = \frac{\pi^2}{3} \left(\frac{k_B}{e} \right)^2 = 2,45 \cdot 10^{-8} \text{ Вм} \cdot \text{Ом} / \text{град}^2$ - называют числом Лоренца.

Закон выполняется..... Это объясняют различием типа столкновений, обуславливающих процессы теплопроводности

- a) при очень низких температурах (при $T \ll \theta_L$ увеличивается)
- b) при не очень высоких температурах (при $T \ll \theta_L$ уменьшается)
- c) при не очень низких температурах (при $T \ll \theta_L$ уменьшается)
- d) при очень низких температурах (при $T \ll \theta_L$ увеличивается)

Ответ: с

11. Движение электрона в кристалле можно описать с помощью волнового пакета, составленного из ...
- блеховских функций.
 - волновых функций
 - функций Лоренца

Ответ: а

12. Ширина энергетической щели –...
- запрещенная зона - равна сумме между наиболее высокой точкой зоны проводимости и наиболее низкой точкой валентной зоны.
 - запрещенная зона - равна сумме между наиболее низкой точкой зоны проводимости и наиболее высокой точкой валентной зоны.
 - запрещенная зона - равна разности между наиболее низкой точкой зоны проводимости и наиболее высокой точкой валентной зоны.
 - запрещенная зона - равна разности между наиболее высокой точкой зоны проводимости и наиболее низкой точкой валентной зоны.

Ответ: с

13. Энергия электрона в зоне проводимости

- $\varepsilon_k = \frac{\hbar^2 k^2}{2m_e}$
- $\varepsilon_k = E_g + \frac{\hbar^2 k^2}{2m_e}$
- $\varepsilon_k = E_g + \frac{k^2}{2}$
- $\varepsilon_k = \frac{\hbar^2 k^2}{2}$

Ответ: b

14. Какое из следующих утверждений верно:

- В идеальном полупроводнике происходит рассеяние на решетке (фононах), в реальном полупроводнике – рассеяние на примесных атомах, но при высоких температурах преобладает рассеяние на фононах.
- В идеальном полупроводнике происходит рассеяние на решетке (фононах), в реальном полупроводнике – рассеяние на фононах, но при высоких температурах преобладает рассеяние на примесных атомах.
- В идеальном полупроводнике происходит рассеяние на решетке (фононах), в реальном полупроводнике – рассеяние на фононах, но при низких температурах преобладает рассеяние на примесных атомах.
- В идеальном полупроводнике происходит рассеяние на решетке (фононах), в реальном полупроводнике – рассеяние на примесных атомах, но при низких температурах преобладает рассеяние на фононах.

Ответ: а

15. При поглощении света твердыми телами энергия фотонов превращается в другие виды энергии. Она может идти на изменение энергетического состояния свободных или связанных с атомами электронов, а также на изменение колебательной энергии атомов. Поглощение обусловлено, в основном, действием следующих механизмов:

- межзонных электронных переходов из валентной зоны в зону проводимости. Связанное с этим механизмом поглощение получило название собственного или фундаментального;
- переходов, связанных с участием экситонных состояний (экситонное поглощение);
- переходов электронов или дырок внутри соответствующих разрешенных зон, т. е. переходов, связанных с наличием свободных носителей заряда. Данное поглощение называют поглощением свободными носителями заряда;
- все перечисленное

Ответ: d

16. Рассчитать электронную структуру и магнитные свойства иона Fe⁴⁺;
 17. записать электронную конфигурацию Fe²⁺
 18. пользуясь правилами Хунда найти кв. числа S, L, J основного состояния иона Fe²⁺
 записать терм основного состояния иона Fe²⁺

19. Вычислить фактор Ланде иона Fe²⁺

20. Найти полный магнитный момент иона Fe²⁺

21. Диск радиусом R=40 см несет равномерно распределенный по поверхности заряд q=0,1 мкКл. Диск равномерно вращается с частотой n=60 1 с относительно оси, перпендикулярной плоскости диска и проходящей через его центр. Определить: 1) магнитный момент $\square m$ кругового тока, создаваемого диском; 2) отношение магнитного момента к моменту импульса, $\square m / L$, если масса m диска равна 600 гр.
 (66)→

22. Найти величину расщепления спектральной линии 550nm в случае простого эффекта Зеемана в магнитном поле $B=1\text{ Тл}$
23. Какое число линий в спектре будет наблюдаться при переходе между уровнями с
 А) $J=0$ и $J=1$
 Б) $J=0$ и $J=2$,
 считая, что для обоих уровней $S=1$
24. Записать электронную конфигурацию слоя $n=3, l=2$
 $n=4, l=1$; $n=8, l=6$;
25. Спектральный терм (определение)
 По длинному прямому тонкому проводу течет ток силой $I \approx 20\text{ А}$. Определить магнитную индукцию B поля, создаваемого проводником в точке, удаленной от него на расстояние $r = 4\text{ см}$.
- 26.. Найти L, S, J для мультиплетов $6615/25/2, HF$
27. Определить возможную мультиплетность термина $D_{3/2}$
28. В чем состоит приближение самосогласованного поля?
29. Найти механический и орбитальные магнитные моменты для состояния с $l=0$
30. Найти магнитные моменты атомов Fe, Ni, Mn

Критерии оценки (в баллах)

За каждый правильный ответ - 1 балл

Решение задач

- Рассчитайте радиус октаэдрической поры в решетке γ -железа и сравните величину деформации при внедрении в них атома:
 - азота ($R_N = 0,71\text{ \AA}$); 2) углерода ($R_C = 0,77\text{ \AA}$); 3) кислорода ($R_O = 0,66\text{ \AA}$).
- Выразите концентрацию сплава в массовых процентах.
 - Al–23 ат. %Li; 2) Ag–40 ат. %Cu; 3) Fe–20 ат. %Mo; 4) Ti–40 ат. %Zr; 5) Pb–28 ат. %Sn
- Выразите концентрацию сплава в атомных процентах.
 - Ag–25 мас. %Cu; 2) Fe–11 мас. %Si; 3) Fe–15 мас. %Mo; 4) Al–8 мас. %Ca; 5) Ti–25 мас. %Al.
- Оцените частоту перескоков вакансии и атома и коэффициент самодиффузии при комнатной температуре и вблизи температуры плавления:
 - в никеле; 2) в железе и 3) в цинке.
- Оцените среднеквадратическое смещение вакансии и атома за 1 час (в микронах и в единицах межатомного расстояния) при комнатной температуре и вблизи температуры плавления:
 - в золоте; 2) в вольфраме и 3) в платине.
- Сталь с исходной концентрацией углерода C_∞ находится в цементационной печи с температурой T и углеродным потенциалом C_0 . Рассчитайте:
 - концентрацию углерода на глубине h через время τ_1 ;
 - спустя какое время эта концентрация достигнет C_1 ;
 - глубину слоя, где концентрация превышает C_1 , через время τ_2 ;
 - во сколько раз больше времени потребуется для получения слоя такой же глубины, если температуру понизить на 100°C ?
 Коэффициент диффузии углерода в аустените примите равным $D = 0,10 \exp(-134 \cdot 10^3 / RT)$ см²/с (энергия активации выражена в Дж/моль). $T = 920^\circ\text{C}$; $C_\infty = 0,12\%$; $C_0 = 1,2\%$; $C_1 = 0,65\%$; $h = 0,8\text{ мм}$; $\tau_1 = 8\text{ ч}$; $\tau_2 = 16\text{ ч}$.
- Найдите среднее расстояние между дислокациями: а) в отожженном металле с плотностью дислокаций $\rho = 10^6\text{ см}^{-2}$; б) в холоднореформированном металле с $\rho = 10^{10}\text{ см}^{-2}$. Сравните его с радиусом ядра дислокаций (ядра $\sim 3b$).
- Сколько километров дислокаций содержится в 1 см³: а) отожженного металла с плотностью дислокаций $\rho = 10^6\text{ см}^{-2}$; б) холоднореформированного металла с $\rho = 10^{10}\text{ см}^{-2}$? Найдите объемную долю ядер дислокаций в обоих случаях (принимая радиус ядра гядра $\sim 3b$).
- В расчёте на 1 см³ металла сравните: а) энергию дислокаций при их максимально возможной плотности $\sim 10^{12}\text{ см}^{-2}$; б) энергию вакансий при их максимально возможной равновесной концентрации (вблизи температуры плавления); в) энергию межатомной связи (энергию сублимации) $\epsilon_{\text{субл}}$. Расчёт сделайте для: 1) серебра ($\epsilon_{\text{субл}} = 2,60\text{ эВ/атом}$); 2) α -железа ($\epsilon_{\text{субл}} = 3,63\text{ эВ/атом}$).
- Найдите напряжение, необходимое для прохождения полной краевой дислокации над параллельной ей закреплённой дислокацией, если расстояние между их плоскостями скольжения составляет $10b$; $25b$; $100b$. Расчёт сделайте для 1) α -железа; 2) серебра.
- Какое напряжение надо приложить к паре полных краевых дислокаций одного знака, скользящих в одной плоскости, чтобы сблизить их до расстояния $10b$; $25b$; $100b$? Расчёт сделайте для: 1) α -железа; 2) серебра.
- Запишите все возможные типы реакций между двумя дислокациями $1/2a$ в ГЦК-решётке и отберите из них энергетически выгодные.
- Запишите все возможные типы реакций между двумя дислокациями $1/2a$ в ОЦК-решётке и отберите из них энергетически выгодные.

14. Монокристалл серебра выращивают из расплава. Оцените плотность возникающих в ходе кристаллизации дислокаций, если перепад температуры вблизи границы раздела жидкости и твёрдой фазы составляет 10 К/мм. Коэффициент линейного расширения серебра при температуре плавления равен $28 \cdot 10^{-6} \text{ К}^{-1}$

Примеры задач контрольной работы по КТМ:

1. Рассчитать электронную структуру и магнитные свойства иона Fe^{2+} :
2. Записать электронную конфигурацию слоя $n=3, l=2$
 $n=4, l=1; n=8, l=6$;
3. Покажите, что конфигурации dn и $d10-n$ дают одинаковые термы
4. Выписать спектральные обозначения термов электрона в атоме водорода для $n=3$
5. Найти L, S, J для мультиплетов $6615/25/2, \text{HF}$
6. Определить возможную мультиплетность терма $D3/2$
7. Найти магнитные моменты атомов $\text{Fe}, \text{Ni}, \text{Mn}, \text{Cr}$
9. Диск радиусом $R=40$ см несет равномерно распределенный по поверхности заряд $q=0,1$ мкКл. Диск равномерно вращается с частотой $n=60$ 1 с \square относительно оси, перпендикулярной плоскости диска и проходящей через его центр. Определить: 1) магнитный момент $\square m$ кругового тока, создаваемого диском; 2) отношение магнитного момента к моменту импульса, $\square m / L$, если масса m диска равна 600 гр. (6б)
10. По проводу, согнутому в виде квадрата со стороной $a = 10$ см, течет ток силой $I = 100$ А. Найти магнитную индукцию B в точке пересечения диагоналей квадрата
11. Найдите напряженность магнитного поля, создаваемого током в линейном проводнике I в точке P , расположенной на расстоянии a от проводника (рис.) (6б)
12. Какой эффект Зеемана (простой или сложный) обнаруживают в магнитном поле спектральные линии переходов
А) (Б)

Критерии оценки (в баллах)

Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов	1 балл
Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько недостатков	0,5 баллов
Нет правильного ответа	0 баллов

Письменная контрольная работа

1. Найти плотность кристаллов NaCl и CsCl (см. рис.1)

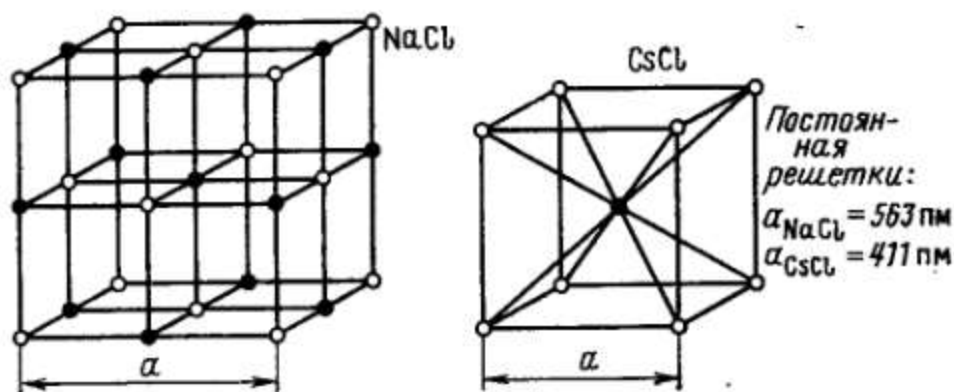


Рис.1

2. Зная постоянную a , вычислить межплоскостные расстояния $d_{100}, d_{110}, d_{111}$ и их отношение для:
 - а) простой, б) объёмно-центрированной, в) гранецентрированной кубических решеток
3. Найти постоянную решетки AgBr (тип решетки NaCl), если известно что K_{α} - линия ванадия отражается в первом порядке от системы плоскостей (100) под углом скольжения $\vartheta = 25.9^{\circ}$.
4. Вычислить длину волны рентгеновского излучения, которое отражается во втором порядке от системы плоскостей (100) кристалла NaCl (см.рис.1) под углом скольжения $\vartheta = 25.0^{\circ}$. Найти также угол,

под которым это излучение отражается в максимальном порядке от данной системы плоскостей.

5. Монокристалл NaCl (см.рис.1) снимают по методу Лауэ вдоль оси четвертого порядка (ось z) на фотопластинку, отстоящую от кристалла на $L=50$ мм. Найти для максимумов, соответствующих отражениям от плоскостей (031) и (221):

- а) их расстояние до центра лауэграммы
- б) длины волн рентгеновского излучения

6. Узкий пучок электронов с энергией 25кэВ проходит через тонкую поликристаллическую пленку и образует на плоском экране на расстоянии $L=20,0$ см от пленки систему дифракционных колец. Диаметр первого кольца $D=13,1$ мм. Вычислить постоянную решетки. Известно, что она кубическая объемно-центрированная. Примеры вопросов теоретического минимума по КТМ

1. Гиромангнитное отношение
2. Магнитомеханические эффекты
3. Теорема Бора – ван Левен + доказательство
4. Физический смысл главных квантовых чисел
5. Найти механический и орбитальные магнитные моменты для состояния с $l=0$
6. Вывести формулу для фактора Ланде электронной оболочки одноэлектронного атома gJ.
7. Спектральный терм (определение)
8. В чем состоит приближение самосогласованного поля
9. Эффект Яна Теллера
10. Понятие лиганда, координационного числа
11. Основные положения теории кристаллического поля

Критерии оценки (в баллах)

<i>Приведено полное правильное решение, включающее правильный ответ и исчерпывающие верные рассуждения с прямым указанием наблюдаемых явлений и законов</i>	2 балла
<i>Дан правильный ответ, и приведено объяснение, но в решении имеются один или несколько недостатков</i>	1 балл
<i>Нет правильного ответа</i>	0 баллов

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература:

1. В.В. Киселев Квантовая макрофизика. Екатеринбург, УрО РАН, 2010
2. Н.Б. Брант, В.А. Кудьбачинский Квазичастицы в физике конденсированного состояния. М. Физматлит, 2007.
3. Епифанов Г.И. Физика твердого тела. - СПб.: "Лань", 2010
4. Байков Ю.А., Кузнецов В.М. Физика конденсированного состояния. – М.: Бином. 2014
5. Р. Уайт. Квантовая теория магнетизма М. Мир. 1985 г.
6. А.К. Звездин, В.М. Матвеев, А.А. Мухин, А.И. Попов. Редкоземельные ионы в магнитоупорядоченных кристаллах. М. Наука. 1985.
7. С.В. Вонсовский. Магнетизм М.: Наука. 1971 г.
8. Е.А.Туров, А.В. Колчанов, В.В. Меньшенин, И.Ф. Мирсаев, В.В. Николаев. Симметрия и физические свойства антиферромагнетиков. М. 2001.
9. N. Spaldin. Magnetic materials. Fundamentals and applications. 2011
10. J.M.D. Coey. Magnetism and Magnetic Materials. Cambridge University Press 2010.

Дополнительная литература:

1. Сборник задач по физике/Под ред. И.Е. Иродова. - СПб.: «Лань», 2006.
2. Матухин В.Л, Ермаков В.Л. Физика твердого тела. – СПб.: Лань, 2009
3. С.В. Вонсовский, М.И. Кацнельсон. Квантовая теория физики твердого тела М.: Наука, ФМЛ.,1983 г.
4. А.И.Ахизер, В.Г.Барьяхтар, С.В.Пелетминский. Спиновые волны М.: Наука, 1967 г.
5. С.В. Тябликов. Методы квантовой теории магнетизма М.: Наука, 1975 г.
6. Г.С. Кринчик Физика магнитных явлений М. МГУ, 1985 г

7. А.А. Бердышев. Введение в квантовую теорию магнетизма Екатеринбург, УрГУ, 1992 г.
8. Ю.А. Изюмов, Р.П.Озеров. Магнитная нейтронография М.: Наука, 1968 г.
9. Абрагам Блيني Электронный парамагнитный резонанс
10. С. Текадзуми. Физика ферромагнетизма. Магнитные характеристики и практические применения М.: Мир, 1987.
11. М.М. Фарзтдинов. Проблемы современной теории магнетизма Уфа, БашГУ, 1980 г.
12. М.М. Фарзтдинов. Теория магнитных явлений в кристаллах. Уфа, БашГУ, 1981 г.
13. Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Квантовая механика М.: Наука, 1982.
14. К.П.Белов, А.К.Зведин, А.М.Кадомова, Р.З.Левитин. Ориентационные переходы в редкоземельных магнетиках М.: Наука, Гл.ред. физ-мат. лит., 1979 г.
15. У.Ф.Браун. Микромагнетизм М.: Наука, 1979 г.
16. М.М.Фарзтдинов. Физика магнитных доменов в антиферромагнетиках и ферритах М.: Наука, 1981 г. с.156.
17. А.М. Косевич, Б.А. Иванов, А.С. Ковалев Нелинейные волны намагниченности. Динамические и топологические солитоны. Киев: Наукова думка, 1983 г., 192с.
- 18.

5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины

1. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>
2. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
3. Теоретические сведения по физике и подробные решения демонстрационных вариантов тестовых заданий, представленных на сайте Росаккредитации (www.fepo.ru).
4. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>
5. www.affp.mics.msu.su

6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для проведения лекционных занятий используется аудиторный фонд физико-технического института. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине приведена в таблице:

Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине приведена в таблице:

Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий	Вид занятий	Наименование оборудования, программного обеспечения
1	2	3
<i>учебная аудитория</i> № 219а или № 224 (физмат корпус)	Лекции	Доска, компьютер, мультимедийный проектор, экран
<i>учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа:</i> аудитория № 219а или № 324 или № 318 или № 224 (физмат корпус)	Практические и лабораторные занятия	Доска, мел, сборники задач, калькулятор, компьютеры
Читальный зал №1 (главный корпус, 1 этаж)	Самостоятельная работа	Научный и учебный фонд, научная периодика, ПК (моноблок) - 3 шт, Wi-Fi доступ для мобильных устройств, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 76.
Читальный зал №2 (корпус физмата, 2 этаж)	Самостоятельная работа	Научный и учебный фонд, научная периодика, Wi-Fi доступ для мобильных устройств, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 50.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
 ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
 «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

по дисциплине Квантовая теория твердых тел. Квантовая теория магнетизма на 7-8 семестр

Разбиение общего числа часов по видам учебных занятий с указанием их объемов приведено в таблице

2

Табл. 2

Вид работы	Общий объем дисциплины	Семестр № 7 . Количество часов	Семестр № 8 . Количество часов
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	4/144	2/72	2/72
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	104,4	54,2	50,2
лекций	56	36	20
практических/ семинарских лабораторных	48	18	30
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем) (ФКР)	0,4	0,2	0,2
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР)	39,6	17,8	21,8
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль)			

Форма(ы) контроля:

Зачет 7 семестр

Зачет 8 семестр

7семестр

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)				Задания по самостоятельной работе студентов	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		ЛК	ПР/СЕМ	ЛР	СР		
1	2	3	4	5	6	7	8
	Модуль 1: структура кристаллов Колебания решетки						
1.	Описание структуры кристаллов. Вектор трансляции, решетка, базис. Трехмерные кристаллы, решетки Браве для трехмерных кристаллов. Индексы Миллера и обозначение направлений. Простые кристаллические структуры: кубическая гранецентрированная и гексагональная с плотной упаковкой; структура алмаза и хлористого натрия. Анизотропия твердых тел. Явление полиморфизма. Классификация типов связи в кристаллах: ионные, ковалентные, металлические и молекулярные кристаллы.	4	2		2	номера задач [3]: № 1.1, 1.3, 1.6.	решение задач
2.	Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах. Закон Брэгга. Экспериментальные методы исследования структуры твердых тел: метод Лауэ, метод	2	1		1	номера задач [3]: № 2.1, 2.4.	Решение задач

	вращения кристалла, порошковый метод.						
3.	Несовершенства и дефекты в кристаллах. Мозаичная структура. Примеси. Атомы в междоузлиях и вакансии. Равновесная концентрация дефектов. Дислокации.	2	1		1	номера задач [3]: № 3.4, 3.5.	решения задач
4.	Тепловые колебания кристаллов. Основные параметры упругих волн. Соотношения дисперсии для упругих волн в одномерной кристаллической цепочке, состоящей из одинаковых атомов и из атомов 2-х видов.	2	2		2	номера задач [3]: № 4.2, 4.5.	решения задач
5.	Акустические и оптические ветви колебаний для одномерных и трехмерных кристаллов. Акустические и оптические фононы. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна.	2	2		2	номера задач [3]: № 4.7, 4.8.	Письменная контрольная работа
6.	Теплоемкость и теплопроводность твердых тел. Закон Дюлонга-Пти, модель Эйнштейна. Дебаевская теория теплоемкости решетки. Теплоемкость электронов проводимости в металлах. Теплопроводность твердых тел.	2	2		2	номера задач [3]: № 5.4, 5.8.	Решение задач
	Модуль 2: Электронные состояния. Динамика электронов						
7.	Свободный электронный газ Ферми (одномерный случай). Энергия Ферми,	2	1		1	номера задач [3]: № 6.1, 6.3.	решения задач

	функция распределения Ферми-Дирака. Свободный электронный газ в трехмерном случае. Поверхность (сфера) Ферми						
8.	Электропроводность и закон Ома. Теплопроводность металлов, закон Видемана-Франца.	2	1		1	номера задач [3]: № 7.2, 7.3.	решения задач
9.	Энергетические зоны. Причины появления запрещенных зон на основе рассмотрения брэгговского отражения электронных волн. Металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории.	2	1		1	номера задач [3]: № 4.1, 4.2.	Решение задач
10.	Волновые функции электрона в периодической решетке. Схема приведенных зон. Эффективная масса электрона, дырки. Свободные электроны. Дифракция валентных электронов. Движение электрона в поле кристаллической решетки. Модель почти свободных электронов. Линии постоянной энергии в приведенной зоне Бриллюэна. Метод сильной связи. Метод ячеек. Присоединенные плоские волны и другие методы. Псевдопотенциалы. Сравнение различных методов. Понятие о	16	5		4,8	номера задач [3]: № 8.1 - 8.8.	тест

<p>резонансной зоне. Уравнение Хартри-Фока. Фермионы как квазичастицы. Электронный газ в приближении Хартри-Фока. Типы твердых тел. Зонная картина. Энергия связи. Плотность состояний. Статистика носителей. Электронная теплоемкость. Взаимодействие между электронами. Экранирование. Эффект Кона. Диэлектрическая проницаемость. Плазменные колебания. Понятие о переходе Мотта. Плазмоны. Длинноволновые оптические фононы и их взаимодействие с фононами. Квантовая теория диэлектрика. Взаимодействие с электромагнитным полем. Взаимодействие, описываемое потенциалом деформации. Взаимодействие электрона с продольными оптическими фононами. Полярон. Электрон-фононное взаимодействие. Понятие о диамагнитном, циклотронном резонансе. Эффект де-Гааза и Ван-Альфена.</p>						
Всего часов:	36	18		17,8		

Примечание 1. В таблицу не включены запланированные 0,2 часа ФКР (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности во время семестра, подразумевающие контактную работу обучающихся с преподавателем).

8 семестр

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)				Задания по самостоятельной работе студентов	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		ЛК	ПР/СЕМ	ЛР	СР		
1	2	3	4	5	6	7	8
	Модуль 1. Электронная структура и магнитные свойства атомов и ионов.						
1.	Введение. Краткая история. Актуальность курса “Квантовая теория магнетизма”. Физические и прикладные основы. Перспектива применения технических устройств, основанных на использовании магнитных структур.	1	2		1		
2.	Магнитные свойства электрона и электронной оболочки атома. Спин и спиновый момент электрона. Орбитальный магнетизм одноэлектронного атома. Гиромагнитное отношение и магнитомеханические эффекты,	1	2		1	Повторить тему «Магнитные свойства нуклонов и атомных ядер» по разделу «Квантовая теория магнетизма».	
3.	Полный магнитный момент, намагниченность, магнитная восприимчивость. Диамагнитная, парамагнитная восприимчивость. Теорема Бора – Ван Левен	1	2		1		
4.	Магнитные свойства многоэлектронных атомов.	1	2		1	Написание реферата по теме 2,3	Проверка рефератов

	Закон Паули, правила Хунда, заполнение электронных оболочек атомов переходных элементов (3d-, 4f-).						
	Модуль 2. Магнитный гамильтониан						
5.	Основные характеристики ионов: электронная конфигурация, термы, мультиплеты. Эффекты Зеемана (простой, сложный), Пашена –Бака. Расщепление энергетических уровней под действием магнитного поля	1	2		1	Разобрать тему «Электронный парамагнитный резонанс»	
6.	Кристаллическое поле. Гамильтониан кристаллического поля. Симметрия кристаллического окружения.	1	1		1		
7.	Элементы теории групп. Представления группы. Точечные и пространственные группы симметрии	1	1		1		
8.	Кристаллохимическая и магнитная симметрия. Типы магнитных структур. Магнитные подрешетки и локальные намагниченности. Обменно – связанные структуры	1	1		1		
9.	Метод спин-гамильтониана. Спиновый гамильтониан. Теорема Яна Теллера. Крамерсовы и некрамерсовы дублеты. Изинговские ионы.	1	1		1		
10.	Обменные взаимодействия. Гамильтониан Гейзенберга	1	2		1		

	–Дирака – Ван Флека.. Прямое обменное взаимодействие, сверх обмен и косвенный обмен, анизотропные обменные взаимодействия						
11.	Уравнение Дирака. Движение заряженной частицы в магнитном поле. Квантовые осцилляции. Релятивистские и нерелятивистские слагаемые в магнитном гамильтониане	1	2		1	Написание реферата по теме 8.	Проверка рефератов
	Модуль 3						
12.	Магнитные свойства металлов. Свойства идеального ферми газа. Поверхность Ферми. Паулиевский парамагнетизм электронов (проводимости)	1	2		1	Написание реферата по теме 6.	
13.	Расчет электронной структуры. Методы Хартри Фока, функционала плотности (DFT). Коллективные возбуждения: спиновые волны, возбуждения Стонера. Теорема Мермина – Вагнера.	1	2		1		
14.	Магнитооптические явления. Поглощение света. Правила отбора. Феноменологическая теория эффекта Фарадея, Коттона – Муттона (Фохта).	1	2		1	Написание реферата по теме 5.	Проверка рефератов
15.	Обратные магнитооптические эффекты. Квантовомеханический анализ. Модель Першана. Процессы кобинационного	1	2		1,8	Написание реферата по теме 1.	Проверка рефератов

	(Рамановского) рассеяния						
16.	Основы спинтроники. Модель Стонера, понятия спин-поляризованных токов, спинового транспорта, эффекта ГМС.	1	1		2		
17.	Спин – орбитальные эффекты. Взаимодействие Дзялошинского – Мории, взаимодействие Рашбы. Топологические изоляторы. Топологические дефекты.	2	1		2		
18.	Мультиферроки. Магнитоэлектрические эффекты и их квантовомеханическая природа	2	2		2		
	Всего часов:	20	30		21,8		

Примечание 1. В таблицу не включены запланированные 0,2 часа ФКР (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности во время семестра, подразумевающие контактную работу обучающихся с преподавателем).

Рейтинг-план дисциплины

Квантовая теория твердых тел. Квантовая теория магнетизма

(название дисциплины согласно рабочему учебному плану)

направление «Физика»

курс 4, семестр 7

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
Модуль 1 – 42 баллов				
Модуль 1. Структура кристаллов и колебания решетки				
Текущий контроль			0	30
1. Тест	1	15	0	15
2. Решение задач	1	15	0	15
Рубежный контроль			0	12
1. Письменная контрольная работа	2	6	0	12
Модуль 2 – 56 баллов				
Модуль 2. Электронные состояния. Динамика электронов				
Текущий контроль			0	44
1. Решение задач	1	14	0	14
2. Тест	1	15	0	15
3. Контрольная работа	1	15	0	15
Рубежный контроль			0	12
1. Письменная контрольная работа	2	6	0	12
Посещаемость				
1. Посещение лекционных занятий			0	-6
2. Посещение практических занятий			0	-10
Поощрительные баллы (участие в конференциях, публикация статей)			0	10
ИТОГО				110

Рейтинг-план дисциплины

Квантовая теория твердых тел. Квантовая теория магнетизма

(название дисциплины согласно рабочему учебному плану)

направление «Физика»

курс 4, семестр 8

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
Модуль 1.				
Текущий контроль			0	15
1. Работа на практических занятиях	3	5	0	15
2. Посещение занятий			-3(ЛК): -5(ПЗ)	0
Рубежный контроль			0	15
1. Письменная контрольная работа			0	10
2. Тестирование				5
Модуль 2.				
Текущий контроль			0	15
1. Работа на практических занятиях	3	5	0	15
2. Посещение занятий			-3(ЛК): -5(ПЗ)	0
Рубежный контроль			0	20
1. Письменная контрольная работа			0	15
2. Тестирование				5
Модуль 3.				
Текущий контроль			0	20
1. Работа на практических занятиях	4	5	0	20
2. Посещение занятий			-3(ЛК): -5(ПЗ)	0
Рубежный контроль			0	15
1. Письменная контрольная работа			0	10
2. Тестирование				5
Поощрительные баллы				10
ИТОГО				110