

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

УТВЕРЖДЕНО
на заседании кафедры
общей физики
протокол № 6 от «2» марта 2022 г.

Зав. кафедрой  /М.Х. Балапанов

СОГЛАСОВАНО
И.о.директора физико-технического
института

 /И.Ф. Шарафуллин

«2» марта 2022 г.

**УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
ПОДГОТОВКА КАДРОВ ВЫСШЕЙ КВАЛИФИКАЦИИ**

**ПРОГРАММА ПОДГОТОВКИ НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ
В АСПИРАНТУРЕ**

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
Вариативная часть.

Направление подготовки
03.06.01 Физика и астрономия

Направленность (профиль) подготовки
Физика конденсированного состояния

Квалификация

Исследователь. Преподаватель-исследователь

Форма обучения
очная, заочная

Уфа – 2022 г.

Разработчик (составитель):



/ д.ф.м.н., проф. Балапанов М.Х.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры общей физики,
протокол №6 от 2 марта 2022 г.



Зав. кафедрой

/М.Х. Балапанов

Список документов и материалов

1.	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы	4
2.	Цели и место дисциплины в структуре образовательной программы	5
3.	Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)	6
4.	Фонд оценочных средств по дисциплине	
4.1.	Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания	6
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	11
5.	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	
5.1.	Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	18
5.2.	Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины	19
6.	Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	20
	Приложение №1	21

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения основной профессиональной образовательной программы

В результате освоения основной профессиональной образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

ПК-1: способность к построению корректных математических моделей и численных алгоритмов решения задач физики конденсированного состояния

ПК-2: способность формулировать задачи теоретического и прикладного характера в рамках физики конденсированного состояния

ПК-3: готовность использовать современные программно-аппаратные средства для проведения научных исследований, а также планировать и проводить экспериментальные исследования, а также анализировать экспериментальные данные

Результаты обучения ¹		Формируемая компетенция (с указанием кода)	Примечание
Знания	Знать: – фундаментальные основы физики конденсированного состояния; – теоретические и численные методы решения задач физики конденсированного состояния	ПК-1	
	Знать – современное состояние фундаментальных и прикладных исследований в физике конденсированного состояния;	ПК-2	
	Знать - основные современные экспериментальные методы исследований в физике конденсированного состояния; - основы научного планирования современного физического эксперимента - основные принципы работы, функциональные возможности, области применения современного экспериментального научно-исследовательского оборудования в области физики конденсированного состояния - основы компьютерного моделирования и численных расчетов в области физики конденсированного состояния - теорию погрешностей эксперимента, методы математической статистики для анализа экспериментальных данных	ПК-3	
Умения	Уметь: – четко формулировать и доказывать основные законы и положения физики конденсированного состояния; – применять теоретические и численные методы решения задач физики конденсированного состояния	ПК-1	
	Уметь оценивать современное состояние фундаментальных и прикладных исследований в изучаемой области физики конденсированного состояния	ПК-2	
	Уметь: - применять основные современные экспериментальные методы исследований в физике конденсированного состояния;	ПК-3	

	<ul style="list-style-type: none"> - осуществлять научное планирование современного физического эксперимента; - использовать на практике знание основных принципов работы, функциональные возможности, областей применения современного экспериментального научно-исследовательского оборудования в области физики конденсированного состояния; - использовать в своей научно-исследовательской деятельности знания основ компьютерного моделирования и численных расчетов в области физики конденсированного состояния; - применять теорию погрешностей эксперимента и методы математической статистики для анализа экспериментальных данных 		
Владения (навыки / опыт деятельности)	<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> – навыками решения задач физики конденсированного состояния с применением теоретических и численных методов 	ПК-1	
	<p>Владеть навыками постановки новых задач физики конденсированного состояния как теоретического, так и прикладного характера</p>	ПК-2	
	<p>Владеть</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками планирования современного научного исследования; - навыками пользования современными программно-аппаратными средствами для проведения научных исследований в изучаемой области физики конденсированного состояния; - навыками применения теории погрешностей и методов математической статистики для анализа экспериментальных данных 	ПК-3:	

2. Цели и место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» относится к вариативной части.

Дисциплина изучается на 3 курсе в 5 семестре – очная форма обучения, на 2,3 курсах в 4,5 семестрах – заочная форма обучения.

Целью дисциплины «Физика конденсированного состояния» является систематизация знаний, умений и навыков обучающихся по различным разделам физики конденсированного состояния в области теории явлений и методов исследований, подготовка обучающихся к сдаче кандидатского экзамена по специальности 01.06.01 – Физика конденсированного состояния.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения таких дисциплин как «Атомная физика», «Квантовая теория», «Кристаллография», «Физика реальных кристаллов», «Структурный дифракционный анализ», «Квантовая теория твердых тел», «Современные проблемы физики конденсированного состояния», «Физика металлов и сплавов», «Физика полупроводников и диэлектриков», «Магнетизм и магнитные материалы», основы которых даются при обучении по программам бакалавриата и магистратуры.

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

Содержание рабочей программы представлено в Приложении № 1.

4. Фонд оценочных средств по дисциплине

4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Код и формулировка компетенции

ПК-1: способность к построению корректных математических моделей и численных алгоритмов решения задач физики конденсированного состояния

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап (уровень)	Знать: – фундаментальные основы физики конденсированного состояния; – теоретические и численные методы решения задач физики конденсированного состояния	Отсутствие знаний	Неполные представления о - фундаментальных основах физики конденсированного состояния; – теоретических и численных методах решения задач физики конденсированного состояния	В целом сформированные, но содержащие отдельные пробелы, представления о – фундаментальных основах физики конденсированного состояния; – теоретических и численных методах решения задач физики конденсированного состояния	Сформированные систематические представления о – фундаментальных основах физики конденсированного состояния; – теоретических и численных методах решения задач физики конденсированного состояния
Второй этап (уровень)	Уметь: – четко формулировать и доказывать основные законы и положения физики конденсированного состояния; – применять	Отсутствие умений	Фрагментарные умения : – четко формулировать и доказывать основные законы и положения физики конденсированно	В целом сформированные, но некоторыми пробелами, умения : – четко формулировать и доказывать основные законы	Полностью сформированные умения: – четко формулировать и доказывать основные законы и положения

	теоретические и численные методы решения задач физики конденсированного состояния		го состояния; – применять теоретические и численные методы решения задач физики конденсированного состояния	и положения физики конденсированного состояния; – применять теоретические и численные методы решения задач физики конденсированного состояния	физики конденсированного состояния; – применять теоретические и численные методы решения задач физики конденсированного состояния
Третий этап (уровень)	Владеть: – навыками решения задач физики конденсированного состояния с применением теоретических и численных методов	Не владеет – навыками решения задач физики конденсированного состояния с применением теоретических и численных методов	В целом успешное, но не систематическое владение – навыками решения задач физики конденсированного состояния с применением теоретических и численных методов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы – владение навыками решения задач физики конденсированного состояния с применением теоретических и численных методов	Полное владение навыками решения задач физики конденсированного состояния с применением теоретических и численных методов

ПК-2: способность формулировать задачи теоретического и прикладного характера в рамках физики конденсированного состояния

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап (уровень)	Знать: – современное состояние фундаментальных и прикладных исследований в физике конденсированного состояния;	Отсутствие знаний	Неполные представления о – современном состоянии фундаментальных и прикладных исследований в физике конденсированного состояния;	В целом сформированные, но содержащие отдельные пробелы, представления о – современном состоянии фундаментальных и прикладных исследований в физике конденсированного состояния;	Сформированные систематические представления о – современном состоянии фундаментальных и прикладных исследований в физике конденсированного состояния;
Второй этап (уровень)	Уметь: оценивать современное состояние фундаментальных и прикладных исследований в изучаемой области	Отсутствие умений	Фрагментарные умения : оценивать современное состояние фундаментальных и прикладных исследований в	В целом сформированные, но некоторыми пробелами, умения : оценивать современное состояние	Полностью сформированные умения: оценивать современное состояние фундаментальных и

	физики конденсированного состояния		изучаемой области физики конденсированного состояния	фундаментальных и прикладных исследований в изучаемой области физики конденсированного состояния	прикладных исследований в изучаемой области физики конденсированного состояния
Третий этап (уровень)	Владеть: – навыками постановки новых задач физики конденсированного состояния как теоретического, так и прикладного характера	Не владеет – навыками постановки новых задач физики конденсированного состояния как теоретического, так и прикладного характера	В целом успешное, но не систематическое владение – – навыками постановки новых задач физики конденсированного состояния как теоретического, так и прикладного характера	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы – владение навыками постановки новых задач физики конденсированного состояния как теоретического, так и прикладного характера	Полное владение навыками постановки новых задач физики конденсированного состояния как теоретического, так и прикладного характера

ПК-3: готовность использовать современные программно-аппаратные средства для проведения научных исследований, а также планировать и проводить экспериментальные исследования, а также анализировать экспериментальные данные

Этап (уровень) освоения компетенции	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
		2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
Первый этап (уровень)	Знать: – основные современные экспериментальные методы исследований в физике конденсированного состояния; – основы научного планирования современного физического эксперимента – основные принципы работы, функциональные возможности, области применения современного экспериментального исследовательского оборудования в области физики	Отсутствие знаний	Неполные представления о – основных современных экспериментальных методах исследований в физике конденсированного состояния; – основах научного планирования современного физического эксперимента – основных принципах работы, функциональных возможностях, областях применения современного экспериментального научно-	В целом сформированные, но содержащие отдельные пробелы, представления о – основных современных экспериментальных методах исследований в физике конденсированного состояния; – основах научного планирования современного физического эксперимента – основных принципах работы, функциональных возможностях, областях	Сформированные систематические представления о – основных современных экспериментальных методах исследований в физике конденсированного состояния; – основах научного планирования современного физического эксперимента – основных принципах работы, функциональных возможностях, областях

	<p>конденсированного состояния</p> <ul style="list-style-type: none"> - основы компьютерного моделирования и численных расчетов в области физики конденсированного состояния - теорию погрешностей эксперимента, методы математической статистики для анализа экспериментальных данных 		<p>исследовательского оборудования в области физики конденсированного состояния</p> <ul style="list-style-type: none"> - основах компьютерного моделирования и численных расчетов в области физики конденсированного состояния - теории погрешностей эксперимента, методах математической статистики для анализа экспериментальных данных 	<p>применения современного экспериментального научно-исследовательского оборудования в области физики конденсированного состояния</p> <ul style="list-style-type: none"> - основах компьютерного моделирования и численных расчетов в области физики конденсированного состояния - теории погрешностей эксперимента, методах математической статистики для анализа экспериментальных данных 	<p>применения современного экспериментального научно-исследовательского оборудования в области физики конденсированного состояния</p> <ul style="list-style-type: none"> - основах компьютерного моделирования и численных расчетов в области физики конденсированного состояния - теории погрешностей эксперимента, методах математической статистики для анализа экспериментальных данных
<p>Второй этап (уровень)</p>	<p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - применять основные современные экспериментальные методы исследований в физике конденсированного состояния; - осуществлять научное планирование современного физического эксперимента; - использовать на практике знание основных принципов работы, функциональные возможности, областей применения современного экспериментального научно-исследовательского оборудования в области физики конденсированного состояния; - использовать в своей научно-исследовательской деятельности 	<p>Отсутствие умений</p>	<p>Фрагментарные умения :</p> <ul style="list-style-type: none"> - применять основные современные экспериментальные методы исследований в физике конденсированного состояния; - осуществлять научное планирование современного физического эксперимента; - использовать на практике знание основных принципов работы, функциональные возможности, областей применения современного экспериментального научно-исследовательского оборудования в области физики конденсированного состояния; - использовать в своей научно- 	<p>В целом сформированные, но некоторыми пробелами, умения :</p> <ul style="list-style-type: none"> - применять основные современные экспериментальные методы исследований в физике конденсированного состояния; - осуществлять научное планирование современного физического эксперимента; - использовать на практике знание основных принципов работы, функциональные возможности, областей применения современного экспериментального научно-исследовательского оборудования в области физики конденсированного состояния; 	<p>Полностью сформированные умения:</p> <ul style="list-style-type: none"> - применять основные современные экспериментальные методы исследований в физике конденсированного состояния; - осуществлять научное планирование современного физического эксперимента; - использовать на практике знание основных принципов работы, функциональные возможности, областей применения современного экспериментального научно-исследовательского оборудования в области физики

	<p>знания основ компьютерного моделирования и численных расчетов в области физики конденсированного состояния;</p> <p>- применять теорию погрешностей эксперимента и методы математической статистики для анализа экспериментальных данных</p>		<p>исследовательской деятельности знания основ компьютерного моделирования и численных расчетов в области физики конденсированного состояния;</p> <p>- применять теорию погрешностей эксперимента и методы математической статистики для анализа экспериментальных данных</p>	<p>го состояния;</p> <p>- использовать в своей научно-исследовательской деятельности знания основ компьютерного моделирования и численных расчетов в области физики конденсированного состояния;</p> <p>- применять теорию погрешностей эксперимента и методы математической статистики для анализа экспериментальных данных</p>	<p>конденсированного состояния;</p> <p>- использовать в своей научно-исследовательской деятельности знания основ компьютерного моделирования и численных расчетов в области физики конденсированного состояния;</p> <p>- применять теорию погрешностей эксперимента и методы математической статистики для анализа экспериментальных данных</p>
Третий этап (уровень)	<p>Владеть:</p> <p>- навыками планирования современного научного исследования;</p> <p>- навыками пользования современными программно-аппаратными средствами для проведения научных исследований в изучаемой области физики конденсированного состояния;</p> <p>- навыками применения теории погрешностей и методов математической статистики для анализа экспериментальных данных</p>	<p>Не владеет</p> <p>- навыками планирования современного научного исследования;</p> <p>- навыками пользования современным и программно-аппаратными средствами для проведения научных исследований в изучаемой области физики конденсированного состояния;</p> <p>- навыками применения теории погрешностей и методов математической статистики для анализа экспериментальных данных</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое владение — навыками планирования современного научного исследования;</p> <p>- навыками пользования современными программно-аппаратными средствами для проведения научных исследований в изучаемой области физики конденсированного состояния;</p> <p>- навыками применения теории погрешностей и методов математической статистики для анализа экспериментальных данных</p>	<p>В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение:</p> <p>- навыками планирования современного научного исследования;</p> <p>- навыками пользования современным программно-аппаратными средствами для проведения научных исследований в изучаемой области физики конденсированного состояния;</p> <p>- навыками применения теории погрешностей и методов математической статистики для анализа экспериментальных данных</p>	<p>Полное владение:</p> <p>- навыками планирования современного научного исследования;</p> <p>- навыками пользования современными программно-аппаратными средствами для проведения научных исследований в изучаемой области физики конденсированного состояния;</p> <p>- навыками применения теории погрешностей и методов математической статистики для анализа экспериментальных данных</p>

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

Этапы освоения	Результаты обучения	Компетенция	Оценочные средства
Знания	Знать: – фундаментальные основы физики конденсированного состояния; – теоретические и численные методы решения задач физики конденсированного состояния	ПК-1	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен
	Знать – современное состояние фундаментальных и прикладных исследований в физике конденсированного состояния;	ПК-2	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен
	Знать - основные современные экспериментальные методы исследований в физике конденсированного состояния; - основы научного планирования современного физического эксперимента - основные принципы работы, функциональные возможности, области применения современного экспериментального научно-исследовательского оборудования в области физики конденсированного состояния - основы компьютерного моделирования и численных расчетов в области физики конденсированного состояния - теорию погрешностей эксперимента, методы математической статистики для анализа экспериментальных данных	ПК-3	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен
Умения	Уметь: – четко формулировать и доказывать основные законы и положения физики конденсированного состояния; – применять теоретические и численные методы решения задач физики конденсированного состояния	ПК-1	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен
	Уметь оценивать современное состояние фундаментальных и прикладных исследований в изучаемой области физики конденсированного состояния	ПК-2	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен
	Уметь: - применять основные современные экспериментальные методы исследований в физике конденсированного состояния; - осуществлять научное планирование современного физического эксперимента; - использовать на практике знание основных принципов работы, функциональные возможности, областей применения современного экспериментального научно-исследовательского оборудования в области физики конденсированного состояния;	ПК-3	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен

	<ul style="list-style-type: none"> - использовать в своей научно-исследовательской деятельности знания основ компьютерного моделирования и численных расчетов в области физики конденсированного состояния; - применять теорию погрешностей эксперимента и методы математической статистики для анализа экспериментальных данных 		
Владения (навыки / опыт деятельности)	<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> – навыками решения задач физики конденсированного состояния с применением теоретических и численных методов 	ПК-1	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен
	Владеть навыками постановки новых задач физики конденсированного состояния как теоретического, так и прикладного характера	ПК-2	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен
	<p>Владеть</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками планирования современного научного исследования; - навыками пользования современными программно-аппаратными средствами для проведения научных исследований в изучаемой области физики конденсированного состояния; - навыками применения теории погрешностей и методов математической статистики для анализа экспериментальных данных 	ПК-3:	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен

Кандидатский экзамен

Экзамен (кандидатский экзамен) является оценочным средством для всех этапов освоения компетенций.

Программа кандидатского экзамена по специальности 03.06.01 – Физика конденсированного состояния состоит из 9 блоков:

1. Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь. Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO₃. Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

2. Дефекты кристаллического строения и их влияние на свойства твердых тел. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки. Равновесная концентрация вакансий. Механизмы диффузии в кристаллах. Законы Фика. Коэффициенты диффузии. Движущая сила диффузии. Восходящая диффузия. Самодиффузия. Взаимная диффузия. Суперионная проводимость. Соотношение Эйнштейна. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Вектор Бюргерса. Энергия дислокаций. Плотность дислокаций. Стенки дислокаций. Переползание дислокаций. Скольжение дислокаций. Барьер Пайерлса. Закон Холла - Петча. Двойники. Двойникование. Скольжение и двойникование как механизмы пластической деформации.

3. Дифракция в кристаллах. Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

4. Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

5. Тепловые свойства твердых тел

Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.

Теплопроводность решетки и электронная теплопроводность. Закон Видемана – Франца.

6. Электронные свойства твердых тел.

Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоэдс, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде. Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна – Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны. Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии. Приближение сильно связанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс. Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

7. Эффекты взаимодействия электронов при движении в кристаллической решетке

Уравнения Хартри — Фока. Теория Ферми-жидкости Ландау. Сверхпроводимость. Критическая температура. Теория Бардина-Купера-Шриффера. Эффект Джозефсона. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток. Теория Гинзбурга-Ландау. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец. Высокотемпературная сверхпроводимость.

8. Магнитные свойства твердых тел.

Орбитальная магнитная восприимчивость. Спиновый парамагнетизм. Квантовомеханическая теория парамагнетизма по Паули. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

Природа ферромагнетизма. Ферромагнетизм зонных электронов. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля). Магнитные примеси. Антиферромагнетизм. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков. Спиновые волны, магноны.

Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс. Эффект Мессбауэра. Применение резонансных методов для исследования структуры твердых тел.

9. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел. Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Соотношения Крамерса-Кронига. Коэффициенты поглощения и отражения. Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

Поглощение света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Экситоны.

Центры окраски и принцип Франка — Кондона. Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.

Магнитооптические эффекты. Эффект Фарадея. Эффект Коттона — Мутона (эффект Фохта). Эффект Керра.

Твердотельные и полупроводниковые лазеры.
Фотонные кристаллы. Фотоника.

Аспирант допускается к экзамену после освоения полной программы дисциплины. Проверка усвоения компетенций проводится на основании проведения письменного опроса и заслушивания реферата.

Вопросы для письменного опроса в течение семестра

1. Описание сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.
2. Обратная решетка и ее свойства.
3. Равновесная концентрация вакансий.
4. Механизмы диффузии в кристаллах. Законы Фика.
5. Дифракция рентгеновских лучей , нейтронов и электронов в кристалле. Брэгговские отражения.
6. Классическая теория теплоемкости.
7. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Температура Дебая.
8. Закон Видемана – Франца.
9. Теория сверхпроводимости Бардина-Купера-Шриффера (БКШ).
10. Зоны Бриллюэна.
11. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток.
12. Квантовомеханическая теория парамагнетизма по Паули.
13. Природа ферромагнетизма.
14. Антиферромагнетизм.
15. Магнитная структура ферромагнетиков.
16. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.
17. Межзонное поглощение света в полупроводниках
18. Магнитооптические эффекты.
19. Фотонные кристаллы. Фотоника.

Каждому аспиранту предоставляется возможность выбрать тему для написания реферата из списка, представленного ниже. В конце семестра аспирант должен представить преподавателю реферат и сделать доклад по теме реферата.

Темы рефератов

1. Применение сканирующего туннельного микроскопа для изучения дефектной структуры твердых тел.
2. Восходящая диффузия в кристаллах.
3. Эффект Киркендалла.
4. Гигантское магнетосопротивление
5. Фотонные кристаллы.
6. Топологические изоляторы.
7. Термодиффузия в твердых телах.
8. Специальные границы зерен в металлах
9. Лазер на квантовых ямах.
10. Светодиоды на полупроводниковых наноструктурах.
11. Лазер на гомопереходе.
12. Лазер на гетеропереходе.

13. Применение Мессбауровской спектроскопии для исследования нанокристаллического состояния твердых тел
14. Плазмонный резонанс в металлах и сплавах.
15. Технологии выращивания монокристаллов
16. Аморфные металлы.
17. Эффект памяти формы в металлах и сплавах.
18. Проблемы высокотемпературной сверхпроводимости
19. Современные методы измерения теплопроводности твердых тел
20. Современные методы измерения теплоемкости твердых тел
21. Применение вейвлет- анализа в задачах физики конденсированного состояния.
22. Фотонные кристаллы. Фотоника.

Экзаменационный билет состоит из трех основных вопросов и одного дополнительного вопроса из программы экзамена.

Образец экзаменационного билета:

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет»
Физико-технический институт

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

по дисциплине «Физика конденсированного состояния»
Направление подготовки 03.06.01 – Физика и астрономия
Направленность подготовки «Физика конденсированного состояния»

1. Типы сил связи в конденсированном состоянии: ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь, Ван дер Ваальсова связь.
2. Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Ферромагнитные домены. Роль обменного взаимодействия.
3. Сверхпроводимость. Эффект Джозефсона.

Утверждено на заседании кафедры _____ протокол № ____
Заведующий кафедрой _____ Балапанов М.Х.

Кандидатский экзамен оценивается по пятибалльной шкале.

Примерные критерии оценивания ответа на экзамене:

5 баллов (отлично) выставляется аспиранту, если он дал полный, развернутый ответ на все вопросы билета, продемонстрировал знание функциональных возможностей, терминологии, основных элементов, умение применять теоретические знания при выполнении практических заданий. Аспирант без затруднений ответил на дополнительный вопрос.

4 балла (хорошо) выставляется аспиранту, если он ответил на все вопросы, однако допустил неточности в определении основных понятий; при ответе на дополнительный вопрос допущены небольшие неточности; дал развернутые ответы на два из трех вопроса из билета и ответил на дополнительный вопрос.

3 балла (удовлетворительно) выставляется аспиранту, если при ответе вопросы билета им допущены 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.

2 балла (неудовлетворительно) выставляется аспиранту, если ответы на вопросы свидетельствуют о непонимании и крайне неполном знании основных понятий и методов. Обнаруживается отсутствие навыков применения теоретических знаний при выполнении практических заданий. Аспирант не смог ответить ни на один дополнительный вопрос.

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

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

Основная литература:

1. Гольдаде В.А. Физика конденсированного состояния [Электронный ресурс] / Гольдаде В. А. — Минск : Белорусская наука, 2009 .— 648 с. — Доступ к тексту электронного издания возможен через Электронно-библиотечную систему «Университетская библиотека online». — <URL:<http://www.biblioclub.ru/book/93309/>>.
2. Павлов П. В. Физика твердого тела : уч. пособие для вузов по спец."Физика" / П. В. Павлов, А. Ф. Хохлов .— М. : Высшая школа, 1985, 2000 г .— 384с. (8 +7экз)
3. Физика твердого тела : В 2-х т. / А. Ашкрофт, Н. Мермин; пер. А.С. Михайлова; под ред. М.И. Каганова. Т.1 .— 1979 .— 399с. [имеется 4 экз] ; Т.2 .— 1979 .— 422с. : [имеется 5 экз]

Дополнительная литература:

4. Ч. Киттель. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель ; под ред. А. А. Гусева .— М. : Наука, 1978 .— 791 с. [28 экз]
5. Вонсовский С.В.. Квантовая физика твердого тела / С. В. Вонсовский, М. И. Кацнельсон .— М. : Наука, 1983 .— 336 с. : [имеется 7 экз]
6. Вонсовский С.В. Магнетизм : магнитные свойства диа-,пара-,ферро-,антиферро-, и ферримагнетиков / С.В. Вонсовский .— М : Наука, 1971 .— 1032 с. – [5 экз].
7. М. Грундман. Основы физики полупроводников: нанофизика и технические применения. Пер с англ. М.: Физматлит. 2012. 772 с.
8. Зегря, Г.Г. Основы физики полупроводников [Электронный ресурс] / Зегря Г. Г. — М. : Физматлит, 2009 .— 334 с. — Доступ к тексту электронного издания возможен через Электронно-библиотечную систему «Университетская библиотека online .— ISBN 978-5-9221-1005-1 .— <URL:<http://www.biblioclub.ru/book/68394/>>.
9. Келли, А. Кристаллография и дефекты в кристаллах / А. Келли, Г. Гровс ; пер. с англ. С. Н. Горина [и др.]; под ред. М. П. Шаскольской .— Москва : Мир, 1974 .— 496 с.
10. Абрикосов, Алексей Алексеевич. Основы теории металлов : для физ. спец. вузов / А. А. Абрикосов .— М. : Наука, 1987 .— 519 с. – 7 экз.
11. Вонсовский С.В. Сверхпроводимость переходных металлов, их сплавов и соединений / С. В. Вонсовский, Ю. А. Изюмов, Э. З. Курмаев .— Москва : Наука, 1977 .— 383 с. – [3 экз].
12. Сан-Жам Д. Сверхпроводимость второго рода / Д Сан-Жам, Г. Сарма, Е. Томас ; под ред. Н. И. Гинзбурга; пер. с англ. А. А. Абрикосова .— Москва : Мир, 1970 .— 364 с.
13. Лыков, С.Н. Сверхпроводимость полупроводников : учеб. пособие / С.Н. Лыков ; под общ. ред. В.И. Ильина [и др.] .— СПб. : Наука, 2001 .— 104 с. – [2 экз].
14. Пространственная симметрия и оптические свойства твердых тел. В 2-х т. / Пер.с англ. И.П.Ипатовой, А.Б.Субашиева; Под ред.К.К.Ребане. Т.1 .— 1978 .— 387с. – [3 экз]. Пространственная симметрия и оптические свойства твердых тел. В 2-х т. / Пер.с англ. И.П.Ипатовой, Г.С.Завта; Под ред.К.К. Ребане. Т.2 .— 1978 .— 352с. – [3 экз].

15. Салех, Бахаа Е. А. Оптика и фотоника. Принципы и применения : учеб. пособие : в 2-х т. / Б. Е. А. Салех, М. К. Тейх ; пер. с англ. В. Л. Дербова .— Долгопрудный : Интеллект, 2012. Т. 2.— 784 с. – [2 экз].
16. Мерер, Хельмут. Диффузия в твердых телах : пер. с англ. / Х. Мерер .— Долгопрудный : Интеллект, 2011 .— 536 с. – [4 экз].
17. Каур, Индержит. Диффузия по границам зерен и фаз / И. Каур, В. Густ ; под ред. Л. С. Швиндлермана; пер.с англ. Б. Б. Страумала .— М. : Машиностроение, 1991 .— 445 с. . – [2 экз].
18. Вудраф, Д. Современные методы исследования поверхности / Пер.с англ. Е.Ф. Шека; Под ред.В.И. Раховского .— М. : Мир, 1989 .— 568с. – [2 экз].
19. Жданов Г.С. Дифракционный и резонансный структурный анализ: Рентгено-, электроно-, нейтроно-, мессбауэрография и мессбауэровская спектроскопия. Учебное пособие для вузов / Г. С. Жданов, А. С. Илюшин, С. В. Никитина .— М. : Наука, 1980 .— 254с. – 1 экз.
20. Илюшин А.С. Дифракционный структурный анализ : учеб. пособие для вузов . В двух частях. / А. С. Илюшин, А. П. Орешко .— Часть 1 .— 2-е изд., испр. и доп. — Москва : 2018 .— 327 с. – [5 экз]. / А. С. Илюшин, А. П. Орешко .— Часть 2 .— 2-е изд., испр. и доп. — Москва : 2018 .— 299 с. – [5 экз].

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

1. «Электронная библиотека БашГУ» <https://elib.bashedu.ru>
2. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <http://www.bashlib.ru/echitzal/>
3. ЭБС «ЛАНЬ» <https://e.lanbook.com>
4. Научная электронная библиотека Elibrary.ru <https://elibrary.ru/>
5. Web of Science Core Collection <http://apps.webofknowledge.com/>
6. Scopus <http://www.scopus.com/>
7. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» (<http://window.edu.ru>);

Программное обеспечение:

1. Windows Professional 8 Russian Upgrade OLP NL Academic Edition.
2. Программа для ЭВМ Office Standard 2013 Russian OLP NL Academic Edition.
3. Браузер Google Chrome (лицензия BSD, свободное программное обеспечение).

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

<i>Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий</i>	<i>Вид занятий</i>	<i>Наименование оборудования, программного обеспечения</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Аудитория 318	Лекции, практические занятия	Доска, компьютер, мультимедийный проектор, экран Программное обеспечение: 1. Windows 8 Russian. Windows Professional 8 Russian Upgrade. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 104 от 17.06.2013 г. 2. Microsoft Office Standard 2013 Russian. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 114 от 12.11.2014 г.
Читальный зал №2 (физмат корпус, 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

дисциплины «Физика конденсированного состояния» на 5 семестр

(наименование дисциплины)

очная

форма обучения

Вид работы	Объем дисциплины
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	3/108
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	
лекций	2
практических	4
Контроль самостоятельной работы (КСР)	2
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР)	64
Учебных часов на подготовку к экзамену/ зачету/ дифференцированному зачету (Контроль)	36

Формы контроля:

Кандидатский экзамен 5 семестр

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов и трудоемкость (в часах)			Основная и дополнительная литература, рекомендуемая обучаемым (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе обучаемых	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		ЛК	ПР/СЕМ	СР			
1	2	3	5	6			
1.	<p>Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь. Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO₃. Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.</p> <p>Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.</p>	1	-	15	[1] - [4], [9]	Изучение рекомендуемой литературы	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен
2.	<p>Дефекты кристаллического строения и их влияние на свойства твердых тел. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки. Равновесная концентрация вакансий. Механизмы диффузии в кристаллах. Законы Фика. Коэффициенты диффузии. Движущая сила диффузии. Восходящая</p>	1	-	12	[1] - [4], [9], [10], [16], [17]	Изучение рекомендуемой литературы	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен

	диффузия. Самодиффузия. Взаимная диффузия. Суперионная проводимость. Соотношение Эйнштейна. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Вектор Бюргера. Энергия дислокаций. Плотность дислокаций. Стенки дислокаций. Переползание дислокаций. Скольжение дислокаций. Барьер Пайерлса. Закон Холла - Петча. Двойники. Двойникование. Скольжение и двойникование как механизмы пластической деформации.						
3.	Дифракция в кристаллах. Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.	-	-	10	[1] - [4], [18] - [20]	Изучение рекомендуемой литературы	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен
4.	Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.	-	-	8	[1] - [4]	Изучение рекомендуемой литературы	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен
5.	Тепловые свойства твердых тел Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания. Теплопроводность решетки и электронная теплопроводность. Закон Видемана – Франца.	-	1	10	[1] - [4]	Изучение рекомендуемой литературы	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен
6.	Электронные свойства твердых тел. Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоэдс, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде. Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна – Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны. Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии. Приближение сильно связанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций	-	1	11	[1]-[5], [7], [8]	Изучение рекомендуемой литературы	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен

	атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс. Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.					
7.	Эффекты взаимодействия электронов при движении в кристаллической решетке Уравнения Хартри — Фока. Теория Ферми-жидкости Ландау. Сверхпроводимость. Критическая температура. Теория Бардина-Купера-Шриффера. Эффект Джозефсона. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток. Теория Гинзбурга-Ландау. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец. Высокотемпературная сверхпроводимость.	-	-	10	[1]-[5], [11]-[13]	Изучение рекомендуемой литературы Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен
8	Магнитные свойства твердых тел. Орбитальная магнитная восприимчивость. Спиновый парамагнетизм. Квантовомеханическая теория парамагнетизма по Паули. Диамагнетика, парамагнетика и ферромагнетика. Законы Кюри и Кюри – Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости. Природа ферромагнетизма. Ферромагнетизм зонных электронов. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля). Магнитные примеси. Антиферромагнетизм. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетика. Магнитная структура ферримагнетиков. Спиновые волны, магноны. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс. Эффект Мессбауэра. Применение резонансных методов для исследования структуры твердых тел.	1	12	[1]-[4], [6], [19]	Изучение рекомендуемой литературы Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен	
9	Оптические и магнитооптические свойства твердых тел. Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Соотношения Крамерса-Кронига. Коэффициенты поглощения и отражения. Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя. Поглощение света в полупроводниках (межзонное, примесное	1	12	[1]-[4], [6]-[8], [14], [15]	Изучение рекомендуемой литературы Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен	

	<p>поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Экситоны. Центры окраски и принцип Франка — Кондона. Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований. Магнитооптические эффекты. Эффект Фарадея. Эффект Коттона — Мутона (эффект Фохта). Эффект Керра. Твердотельные и полупроводниковые лазеры. Фотонные кристаллы. Фотоника.</p>						
	Всего часов:	2	4	100			

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

СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

дисциплины «Физика конденсированного состояния»

(наименование дисциплины)

на 4,5 семестр

заочная

форма обучения

Вид работы	Объем дисциплины
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	3/108
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	10
лекций	2
практических	4
Контроль самостоятельной работы (КСР)	4
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР)	89
Учебных часов на подготовку к экзамену/ зачету/ дифференцированному зачету (Контроль)	9

Формы контроля:

Кандидатский экзамен 5 семестр

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов и трудоемкость (в часах)			Основная и дополнительная литература, рекомендуемая обучаемым (номера из списка)	Задания по самостоятельной работе обучаемых	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		ЛК	ПР/СЕМ	СР			
1	2	3	5	6			
1.	<p>Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: Ван дер Ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь. Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO₃. Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.</p> <p>Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.</p>	1	-	15	[1] - [4], [9]	Изучение рекомендуемой литературы	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен
2.	<p>Дефекты кристаллического строения и их влияние на свойства твердых тел. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки. Равновесная концентрация вакансий. Механизмы диффузии в кристаллах. Законы Фика. Коэффициенты диффузии. Движущая сила диффузии. Восходящая</p>	1	-	12	[1] - [4], [9], [10], [16], [17]	Изучение рекомендуемой литературы	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен

	диффузия. Самодиффузия. Взаимная диффузия. Суперионная проводимость. Соотношение Эйнштейна. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Вектор Бюргерса. Энергия дислокаций. Плотность дислокаций. Стенки дислокаций. Переползание дислокаций. Скольжение дислокаций. Барьер Пайерлса. Закон Холла - Петча. Двойники. Двойникование. Скольжение и двойникование как механизмы пластической деформации.						
3.	Дифракция в кристаллах. Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.	-	-	10	[1] - [4], [18] - [20]	Изучение рекомендуемой литературы	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен
4.	Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.	-	-	8	[1] - [4]	Изучение рекомендуемой литературы	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен
5.	Тепловые свойства твердых тел Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания. Теплопроводность решетки и электронная теплопроводность. Закон Видемана – Франца.	-	1	10	[1] - [4]	Изучение рекомендуемой литературы	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен
6.	Электронные свойства твердых тел. Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоэдс, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде. Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна – Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны. Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии. Приближение сильно связанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций	-	1	11	[1]-[5], [7], [8]	Изучение рекомендуемой литературы	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен

	атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс. Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.						
7.	Эффекты взаимодействия электронов при движении в кристаллической решетке Уравнения Хартри — Фока. Теория Ферми-жидкости Ландау. Сверхпроводимость. Критическая температура. Теория Бардина-Купера-Шриффера. Эффект Джозефсона. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток. Теория Гинзбурга-Ландау. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец. Высокотемпературная сверхпроводимость.	-	-	10	[1]-[5], [11]-[13]	Изучение рекомендуемой литературы	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен
8	Магнитные свойства твердых тел. Орбитальная магнитная восприимчивость. Спиновый парамагнетизм. Квантовомеханическая теория парамагнетизма по Паули. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости. Природа ферромагнетизма. Ферромагнетизм зонных электронов. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля). Магнитные примеси. Антиферромагнетизм. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферромагнетики. Магнитная структура ферромагнетиков. Спиновые волны, магноны. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс. Эффект Мессбауэра. Применение резонансных методов для исследования структуры твердых тел.		1	11	[1]-[4], [6], [19]	Изучение рекомендуемой литературы	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен
9	Оптические и магнитооптические свойства твердых тел. Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Соотношения Крамерса-Кронига. Коэффициенты поглощения и отражения. Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя. Поглощение света в полупроводниках (межзонное, примесное		1	11	[1]-[4], [6]-[8], [14], [15]	Изучение рекомендуемой литературы	Письменный опрос, реферат, доклад, кандидатский экзамен

<p>поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Экситоны. Центры окраски и принцип Франка — Кондона. Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований. Магнитооптические эффекты. Эффект Фарадея. Эффект Коттона — Мутона (эффект Фохта). Эффект Керра. Твердотельные и полупроводниковые лазеры. Фотонные кристаллы. Фотоника.</p>						
Всего часов:	2	4	98			

