

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.»
Кафедра «Физика»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
по дисциплине Б1.В.ОД.5
«Физика твердого тела»

направления подготовки
«11.06.01-Электроника, радиотехника и системы связи»
(твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и
наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах)

квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь»

форма обучения - дневная
курс – 2
семестры – 3
зачетных единиц – 3
всего часов – 108,
в том числе:
лекции –18
коллоквиумы – нет
практические занятия – 18
лабораторные занятия - нет
самостоятельная работа – 72
часов в неделю – 2
экзамен – 3 семестр

1. Цели и задачи дисциплины:

- формирование у аспирантов систематических знаний о методах решения практических задач физики конденсированного состояния на основе современных математических моделей описания кристаллов;
- развитие научного мышления и создание фундаментальной базы для успешной дальнейшей профессиональной деятельности в областях, связанных с исследованием свойств конденсированных сред.
- изучение современных представлений о физических моделях и математических методах описания дефектов кристаллической структуры,
- овладение фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики конденсированного состояния, а также методами физического исследования;
- формирование умений и навыков обоснования и применения адекватной математической модели для описания разнообразных физических процессов и состояний в физике твердого тела.

Основные результаты изучения дисциплины "Зонная теория твердых тел" могут быть использованы при изучении дисциплин по выбору: «Физика диэлектриков» и «Нелинейная физическая механика»,

2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина "Физика твердого тела" относится к обязательным дисциплинам Блока 1.

Изучение дисциплины «Физика твердого тела» проводится на базе следующих дисциплин, освоенных во время получения базового высшего образования 1-го уровня: "Физика", "Теоретическая и прикладная механика", «Теоретическая физика», "Математический анализ", "Дифференциальные уравнения", "Комплексный анализ", "Аналитическая геометрия", "Численные методы" и основывается на знаниях всего аппарата высшей математики, освоенного при изучении перечисленных дисциплин, а также на знаниях основных представлений и законов, полученных при изучении различных разделов курса общей и теоретической физики.

3. Требования к результатам освоения дисциплины:

Изучение дисциплины «Физика твердого тела» направлено на формирование следующих компетенций:

универсальные компетенции УК:

УК-1: способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;

УК-2: способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки;

УК-3: готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач;

УК-4: готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках;

УК-5: способность следовать этическим нормам в профессиональной деятельности;

общепрофессиональные компетенции ОПК:

способность самостоятельно осуществлять научно – исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1).

В результате освоения дисциплины "физика твердого тела":

Аспирант должен знать:

современные представления физики твердого тела;

математические методы, позволяющие адекватно описать и объяснить протекание конкретных физических процессов или явлений в твердых телах на основе зонной теории.

Аспирант должен уметь:

применять представления физики твердого тела для решения практических задач физики конденсированного состояния;

выделять главное содержание исследуемого физического явления и выбирать оптимальную физическую модель его описания, позволяющую рассчитать адекватные характеристики.

Аспирант должен владеть:

математическими методами, используемыми для описания взаимодействия электронов с кристаллической решеткой;

методами выполнения исследовательских работ.

4. Распределение трудоемкости (час.) дисциплины по темам и видам занятий.

№ недели	№ темы	Наименование темы	Часов					
			Всего	лек.	колл.	л.з.	пр.з.	СРС
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-6	1-3	Описание структуры кристаллов и тепловые свойства твердых тел.	24	6	-	-	6	12
7-12	4-6	Основы зонной теории твердых тел.	42	6	-	-	6	30
13-18	7-9	Диэлектрические, магнитные оптические свойства твердых тел.	42	6	-	-	6	30
Всего			108	18	-	-	18	72

5. Содержание лекционного курса

№ темы	Всего часов	№ лекции	Тема лекции. Вопросы, обрабатываемые на лекции.	Учебно-методическое обеспечение
1	2	3	4	5
1	2	1	Строение кристаллических твердых тел: элементы точечной и трансляционной симметрии. Обозначения плоскостей и направлений, индексы Миллера.	[1],[3]
2	2	2	Общая классификация дефектов. Термодинамика образования точечных дефектов. Дефекты по Шоттки и Френкелю.	[1],[3]
3	2	3	Классическая и квантовая теории колебаний решетки. Теплоемкости по Эйнштейну, Дебаю, закон Дюлонга-Пти.	[1],[3]
4	2	4	Модель свободных электронов. Уравнение Шредингера, волновые функции, уровни энергии и их заполнение.	[2]
5	2	5	Зонная теория твердых тел. Зоны Бриллюэна. Проводники, полупроводники, диэлектрики.	[2]
6	2	6	Электропроводность металлов, время релаксации. Электропроводность собственных и примесных полупроводников, температурная зависимость.	[1-3]
7	2	7	Виды поляризации. Диэлектрическая восприимчивость. Спонтанная поляризация, пиро и сегнетоэлектрики. Доменная структура.	[1],[4]
8	2	8	Физическая природа диа - и парамагнетизма. Природа постоянных магнитных моментов. Физическая природа ферромагнетизма.	[2-4]
9	2	9	Закономерности поглощения и излучения света твердыми телами. Центры окраски, люминесценция, фотопроводимость.	[2],[3]

6. Содержание коллоквиумов

Коллоквиумы не предусмотрены.

7. Перечень практических занятий.

№ темы	Всего часов	№ занятия	Тема практического занятия. Вопросы, обрабатываемые на практическом занятии.	литература
1	2	3		
1	2	1	– определение типа решетки, определение базиса, сингонии, нахождение стехиометрических соотношений, координационных чисел; – расчеты плотностей кристаллов по параметрам решетки и обратные задачи;	[1]

			– определение индексов Миллера для плоскостей и направлений.	
2	2	2	– расчеты равновесных концентраций дефектов Шоттки и Френкеля; – анализ влияния дефектообразования на изменения термодинамических функций.	[1]
3	2	3	– определение температурных областей применимости приближений Дебая, Эйнштейна; – расчеты термодинамических функций и теплоемкостей по Дебаю и Эйнштейну.	[3]
4	2	4	– расчеты положения уровня Ферми для различных материалов и обратные задачи; – расчеты электронной составляющей теплоемкости и других параметров вырожденного электронного газа (вероятностей заполнения уровней).	[3]
5	2	5	– определение концентраций носителей зарядов в зонах при различных температурах для полупроводников n–p типа, содержащих различные примеси; – определение температурных интервалов изменения концентраций носителей зарядов.	[1],[4]
6	2	6	– расчеты плотностей токов, проводимости металлов и полупроводников при разных температурах и обратные задачи по определению и оценке подвижности, частот столкновений, длин свободных пробегов; – оценки параметров полупроводников по данным эффекта Холла.	[1],[4]
7	2	7	оценки величин поляризуемости (электронной, ионной, дипольной) и диэлектрических характеристик вещества по экспериментальным данным; – оценки условий возникновения спонтанной поляризуемости.	[2]
8	2	8	– расчеты намагниченности различных материалов по данным об их строении и электронной структуре материалов.	[3]
9	2	9	– расчеты фотопроводимости по известным характеристикам генерации и рекомбинации неравновесных носителей зарядов; – оценки толщины области фотопроводимости.	[3]

8. Перечень лабораторных работ.

Лабораторные работы не предусмотрены

9. Задания для самостоятельной работы аспирантов.

№ темы	Всего часов	Вопросы для самостоятельного изучения (задания)	Учебно-методическое обеспечение
1	12	Расчеты межплоскостных расстояний и углов и плотностей упаковки.	[2],[6]
4	15	Строение поверхности Ферми. Экспериментальные методы исследования поверхности Ферми.	[3],[6]
5	15	Эффективная масса электрона, сильно взаимодействующего с деформацией решетки.	[1],[6]
7	15	Расчеты диэлектрических потерь и диэлектрических характеристик при различных частотах.	[1],[4],[6]
9	15	Анализ зонной структуры по спектрам поглощения и фотопроводимости.	[5],[6]
<i>Всего часов: 72</i>			

10. Расчетно-графическая работа – нет.

11. Курсовая работа – нет.

12. Курсовой проект – нет.

13. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Карта компетенций дисциплины «Физика твердого тела»					
Компетенции		Перечень компонентов	Технологии формирования	Форма оценочного средства	Ступени уровней освоения компетенции
Индекс	Формулировка				
ОПК-1	способностью самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность соответствующей профессиональной области использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1)	<p><u>Знать:</u> Основные представления зонной теории твердых тел, математические модели, описывающие взаимодействие электронов с кристаллической решеткой.</p> <p><u>Уметь:</u> Сформулировать цель и задачи исследования. Анализировать и делать выводы на основе материала приводимого в учебной и научной литературе.</p> <p><u>Владеть:</u> Навыком самостоятельной работы в области учебной и научной работы. Навыком применения знаний полученных в ходе лекционных и практических занятий.</p>	Лекции, Практические занятия, СРС.	1. Устный ответ 2. Экзамен	<p><u>Пороговый (удовлетворительно)</u> <u>Знает:</u> основные физические понятия, основные методы решения типовых задач и умеет их применять на практике <u>Умеет:</u> пользоваться методической и вспомогательной литературой для осуществления решения задач. <u>Владеет:</u> Навыком самостоятельной работы в области учебной работы. <u>Продвинутый (хорошо)</u> <u>Знает:</u> понимает связи между различными физическими понятиями; аргументирует выбор метода решения задачи; составляет план решения задачи <u>Умеет:</u> Применять методы решения задач в различных ситуациях; умеет корректно выражать и аргументировано обосновывать положения предметной области знания. Пользоваться научной литературой для осуществления расчетов. Пользоваться данными экспериментальных исследований для осуществления расчетов. <u>Владеет:</u> Навыком самостоятельной работы в области научной и учебной работы. <u>Высокий (отлично)</u> <u>Знает:</u> Устанавливает связи между физическими идеями, теориями. <u>Умеет:</u> Пользоваться научной литературой для осуществления расчетов. Оценивать достоверность полученного решения задачи; оценивает различные методы решения задачи и выбирает оптимальный метод. Анализировать и делать</p>

					<p>выводы на основе материала приводимого в научной литературе.</p> <p><u>Владеет:</u></p> <p>Навыком передавать результат проведенных исследований в виде конкретных рекомендаций в терминах предметной области знания.</p> <p>Навыком применения знаний полученных в ходе лекционных, практических занятий.</p>
УК-1	<p>способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</p>	<p><u>Знать:</u></p> <p>Основные достижения, а также современные результаты зонной теории твердых тел.</p> <p><u>Уметь:</u></p> <p>Генерировать новые идеи при решении исследовательских и практических задач.</p> <p><u>Владеть:</u></p> <p>Навыком использования основных современных методов исследования, используемых в конкретной области исследования, а также в смежных дисциплинах.</p>	<p>Лекции, Практические занятия, СРС.</p>	<p>1. Устный ответ. 2. Экзамен.</p>	<p><u>Пороговый</u> (удовлетворительно)</p> <p><u>Знает:</u></p> <p>Основные достижения в области зонной теории кристаллов.</p> <p><u>Умеет:</u></p> <p>Генерировать идеи при решении конкретных практических задач.</p> <p><u>Владеет:</u></p> <p>Навыком использования основных современных методов, используемых при описании взаимодействия электронов с кристаллической решеткой.</p> <p><u>Продвинутый (хорошо)</u></p> <p><u>Знает:</u></p> <p>Основные достижения, а также наиболее значимые современные методы в области зонной теории кристаллов.</p> <p><u>Умеет:</u></p> <p>Генерировать идеи, позволяющие проводить расчеты различных процессов, в кристаллических структурах.</p> <p><u>Владеет:</u></p> <p>Различными классическими методами физических вычислений, основанными на использовании Фурье-анализа, аппарата специальных функций и математической физики.</p> <p><u>Высокий (отлично)</u></p> <p><u>Знает:</u></p> <p>Основные достижения, а также большинство современных методов в области зонной теории.</p> <p><u>Умеет:</u></p> <p>Генерировать идеи, позволяющие проводить расчеты различных процессов, в</p>

					<p>кристаллических структурах, в том числе, идеи, которые могут быть использованы в смежных областях физики.</p> <p><u>Владеет:</u></p> <p>Навыком использования классических, а также современных научных аналитических и численных методов, в том числе заимствованных из смежных дисциплин.</p>
--	--	--	--	--	--

Вопросы для зачета-нет

Вопросы для экзамена.

1. Элементы точечной симметрии. Простые и сложные элементы.
2. Кристаллические классы. Точечная группа симметрии.
3. Трансляционная группа. Простые и сложные решетки.
4. Кристаллографические категории. Сингония и решетки Бравэ.
5. Индексы Миллера.
6. Определение структуры кристаллов. Обратная решетка.
7. Общая классификация дефектов.
8. Колебания в одномерной простой решетке. Дисперсионное соотношение. Зона Бриллюэна.
9. Спектр частот одномерной простой решетки.
10. Колебания в одномерной сложной решетке. Оптическая и акустическая ветви.
11. Термодинамические функции твердых тел в приближении Эйнштейна.
12. Теплоемкость твердых тел в приближении Дебая.
13. Дефекты по Шоттки. Температурная зависимость концентрации дефектов.
14. Дефекты по Френкелю. Температурная зависимость концентрации дефектов.
15. Модель свободных электронов. Волновые функции. Уровни энергии.
16. Уровень Ферми при 0 К.
17. Функция распределения энергетических состояний по энергиям.
18. Вероятность заполнения энергетического уровня. Функция Ферми–Дирака. Вырождение.
19. Функция распределения электронов по энергиям. Теплоемкость металлов.
20. Электропроводность металлов.
21. Зонная модель твердых тел. Образование зон. Зоны Бриллюэна.
22. Количество мест в зоне. Их заполнение. Проводники, диэлектрики, полупроводники.
23. Электроны и дырки. Эффективная масса электрона.
24. Собственные полупроводники. Концентрация носителей зарядов. Положение уровня Ферми.
25. Полупроводники p-типа. Концентрация носителей зарядов. Положение уровня Ферми.
26. Полупроводники n-типа. Концентрация носителей зарядов. Положение уровня Ферми.
27. Общий подход к определению концентрации носителей зарядов и положению уровня Ферми в полупроводниках.
28. Продольные и поперечные явления. Эффект Холла.
29. Проводимость полупроводников. Температурная зависимость.
30. Неравновесные носители зарядов. Механизмы рекомбинации, характеристики.
31. Окраска кристаллов. Центры окраски
32. Неравновесные носители и их основные характеристики
33. Механизмы поглощения света кристаллами. Спектр поглощения. Экситоны. Фотоэффект.
34. Люминесценция, ее механизм
35. Сверхпроводимость. Физические явления, сопровождающие сверхпроводимость. Основные характеристики сверхпроводников.
36. Сверхпроводники 1-го и 2-го рода
37. Критические параметры сверхпроводников
38. Физические причины возникновения сверхпроводимости
39. Макроскопические характеристики магнитных свойств
40. Природа магнитных моментов атомов
41. Физическая природа диамагнетизма
42. Физическая природа парамагнетизма
43. Ферромагнетики. Основные характеристики
44. Физическая природа ферромагнетизма. Спиновые волны.
45. Ферромагнетики. Кристаллическая структура, свойства.

46. Антиферромагнетики. Кристаллическая структура, свойства
47. Диэлектрики в статических электрических полях. Основные макроскопические характеристики.
48. Виды поляризации диэлектриков.
49. Электронная поляризуемость.
50. Ионная поляризуемость
51. Ориентационная поляризуемость
52. Диэлектрическая проницаемость твердых тел
53. Диэлектрики в переменных электрических полях, основные макроскопические характеристики
54. Резонансное поглощение электромагнитной энергии
55. Дипольная релаксация. Диэлектрические потери в полярных диэлектриках
56. Спонтанная поляризация. Общая характеристика пиро и сегнетоэлектриков
57. Основные характеристики сегнетоэлектриков. Доменная структура
58. Пьезоэлектрики.
59. Макроскопические характеристики магнитных свойств
60. Природа магнитных моментов атомов
61. Физическая природа диамагнетизма
62. Физическая природа парамагнетизма
63. Ферромагнетики. Основные характеристики
64. Физическая природа ферромагнетизма. Спиновые волны.

14. Образовательные технологии

Предусмотрено использование в учебном процессе отдельных видов активных и интерактивных форм и методов проведения занятий, учитывающих специфику изучения дисциплины математического и естественнонаучного цикла:

- чтение лекций с использованием *мультимедийных технологий*;
- занятия «*Продвинутая лекция*» (дискуссионная форма проведения лекции по частным вопросам современной физики);

15. Перечень учебно-методического обеспечения для обучающихся по дисциплине

Основная литература:

1. Пайерлс, Р. Квантовая теория твердых тел [Текст] / Пайерлс Р. - Москва-Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, 2013. - 260 с. - ISBN 5-93972-205-9 : Б. ц. Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17624>.- ЭБС «IPRbooks» по паролю.
2. Гуртов, В.А. Физика твердого тела для инженеров [Электронный ресурс] : учебное пособие / Гуртов В. А. - Москва : Техносфера, 2012. - 560 с. - ISBN 978-5-94836-327-1:Б.ц. Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/26903>.- ЭБС «IPRbooks» по паролю.

Дополнительная литература:

3. Делоне, Н.Б. Квантовая природа вещества [Текст] / Делоне Н. Б. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 208 с. - ISBN 978-5-9221-0867-6 : Б. ц. Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17261>.- ЭБС «IPRbooks» по паролю.
4. Леденев А.Н. Физика. Том 5. Основы квантовой физики [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2005 - .Физика. Том 5. Основы квантовой физики / Леденев А. Н. - 2005. - 248 с. - ISBN 978-5-9221-0465-4 : Б. ц. Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17511>.- ЭБС «IPRbooks» по паролю.
5. Федотов, А.К. Физическое материаловедение. Часть 1. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учебное пособие. - Минск : Вышэйшая школа, 2010 - . Физическое материаловедение. Часть 1. Физика твердого тела / Федотов А. К. - 2010.-400с.-ISBN978-985-06-1918-1:Б.ц.Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks.
6. Браун, О.М. Модель Френкеля-Конторовой [Текст] : концепции, методы, приложения / Браун О. М. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2008. - 535 с. - ISBN 978-5-9221-0973-4:Б.ц.Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks. Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/17346>.-ЭБС «IPRbooks» по паролю.

Список интернет-ресурсов

7. Естественнонаучный образовательный портал - <http://en.edu.ru>
8. Единое окно доступа к образовательным ресурсам - <http://window.edu.ru>
9. Открытый колледж. Физика. - <http://physics.ru>
10. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов - <http://school-collection.edu.ru>

16. Материально-техническое обеспечение.

Для проведения занятий необходимы аудитории со стандартным оснащением для ведения лекционных и практических занятий площадью 35 м². Электронно-библиотечная система, электронная библиотека вуза и электронная информационно-образовательная среда. Предусмотрено сопровождение лекционного курса мультимедийными презентациями.