

# Рабочая программа дисциплины

## 1. Квантовая физика твердого тела вещества

### 2. Лекторы.

**2.1.** к.ф.-м.н., доцент Клавсюк Андрей Леонидович, кафедра общей физики физического факультета МГУ, [klavsyuk@physics.msu.ru](mailto:klavsyuk@physics.msu.ru), 8-495-9394590.

### 3. Аннотация дисциплины.

Квантовая физика твердого тела вещества занимается изучением свойств, кристаллических твердых тел. Реальные свойства твердых тел довольно сложны и многообразны, поэтому на сегодняшний день не представляется возможным строго объяснить их при помощи установленных принципов квантовой и статистической механики. Поэтому теория твердого тела выработала свои подходы для объяснения важнейших свойств различных веществ. Благодаря такому подходу стали возможными огромные достижения в квантовой электронике и других областях, связанных с созданием новых материалов с уникальными свойствами. Поэтому квантовая физика твердого тела вещества является одним из важнейших направлений в науке на сегодняшний день.

Настоящий курс посвящен анализу физических свойств кристаллов, последовательному построению аналитических моделей при исследовании различных явлений в теории конденсированного состояния вещества. Последовательно рассматриваются термодинамические свойства кристаллов, различные приближенные модели, проблемы неустойчивости одно- и двумерных кристаллов. Помимо классических явлений и моделей большое внимание уделено современным подходам при изучении свойств твердого тела.

### 4. Цели освоения дисциплины.

Изучение базовых основных понятий и идей квантовой физики твердого тела. Изучить наиболее распространенные и эффективные на сегодняшний день теоретические модели и области их применения.

### 5. Задачи дисциплины.

Дать студенту фундаментальные представления об основных понятиях и идеях квантовой физики твердого тела. Получение практических навыков решения простейших задач, допускающих аналитическое решение.

### 6. Компетенции.

#### 6.1. Компетенции, необходимые для освоения дисциплины.

М-ПК-1

#### 6.2. Компетенции, формируемые в результате освоения дисциплины.

М-ОНК-1, М-ОНК-2, М-ИК-3, М-ПК-1, М-ПК-2, М-ПК-3, М-СПК-1, М-СПК-8

### 7. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

В результате освоения дисциплины обучающийся должен знать основные понятия и идеи квантовой физики твердого тела. Студент должен иметь представление: о квантовой физике твердого тела как разделе физики, ее задачах и методах их решения, имеющих аналитическое решение; владеть навыками работы с математическим аппаратом физических теорий, необходимыми для дальнейшего их изучения; иметь опыт деятельности в решении

### 8. Содержание и структура дисциплины.

Вид работы	Семестр	Всего
	1	
<b>Общая трудоёмкость, акад. часов</b>	108	108
<b>Аудиторная работа:</b>	36	36
Лекции, акад. часов	18	18
Семинары, акад. часов	18	18
Лабораторные работы, акад. часов	-	-
<b>Самостоятельная работа, акад. часов</b>	72	72
<b>Вид итогового контроля</b>	экзамен	экзамен

№ раз-дела	Наименование раздела	Трудоёмкость (академических часов) и содержание занятий			Форма текущего контроля	
		Аудиторная работа		Самостоятельная работа		
		Лекции	Семинары			Лабораторные работы
1	Кристаллические решетки. Общая теория.	2 часа <i>Введение. Примеры структур. Динамическая задача. Адиабатическое приближение. Равновесие. Типы связи. Колебания атомов. Классическая механика. Линейная цепочка. Общее решение. Свойства нормальных колебаний. Замечание об упругих постоянных. Квантовая теория.</i>	2 часа <i>Построения поверхностей по заданным индексам Миллера. Решение задач на определение кристаллографических направлений и характерных расстояний.</i>		4 часа. <i>Работа с лекционным материалом: Кристаллическая структура твердых тел и их форма. Трансляции и кристаллическая решетка. Операции симметрии. Элементарная ячейка. Основные типы кристаллических решеток. Решетки Браве. Типы межатомных связей Ван-дер-Ваальсово взаимодействия. Ковалентная связь. Ионная связь. Водородная связь. Металлическая связь. Классификация твердых тел по типам связи.</i>	ДЗ, Об, Оп
			2 часа. <i>Решение задач на нахождение энергий связи для разных типов межатомных связей.</i>			
2	Кристаллические решетки. Применение теории.	2 часа. <i>Теплоемкость. Ангармонические члены. Температурное расширение. Линейный член в теплоемкости. Теплопроводность. Уравнение Больцмана. Высокие температуры. Примеси и влияние размеров.</i>	2 часа. <i>Решение задач на темы: теплоемкость и теплопроводность.</i>		8 часов. <i>Работа с лекционным материалом: Теплоемкость твердых тел. Модель Эйнштейна. Теплоемкость твердых тел. Модель Дебая. Уравнение Больцмана. Влияние примесей и размеров на теплопроводность твердых тел.</i>	ДЗ, Об, Оп
3	Взаимодействие света с непроводящими кристаллами.	2 часа. <i>Постановка задачи. Инфракрасное поглощение. Дифракция рентгеновских лучей. Влияние колебаний атомов. Рассеяние света. Рассеяние нейтронов.</i>	2 часа. <i>Применение рентгенографии для решения задач качественного и количественного анализа кристаллов.</i>		8 часов. <i>Работа с лекционным материалом: Формулировка Брэгга и Лауэ. Условие Лауэ и построение Эвальда. Экспериментальные методы. Влияние колебаний атомов. Рассеяние света. Рассеяние нейтронов.</i>	ДЗ, Об, Оп
4	Электроны в	2 часа.	2 часа.		8 часов.	ДЗ,

	идеальной решетки.	<i>Теорема Блоха. Сильная связь. Почти свободные электроны. Система многих электронов. Статистика. Теплоемкость.</i>	<i>Доказательство теоремы Блоха. Использование граничного условия Борна-кармана. Поверхность ферми.</i>		<i>Работа с лекционным материалом: Теорема Блоха. Сильная связь. Почти свободные электроны. Система многих электронов. Статистика. Теплоемкость.</i>	<i>Об, Оп</i>
5	Силы сцепления в металлах. Явления переноса.	<i>2 часа Приближение Вигнера-Зейтца. Линейная цепочка. Трехмерная задача. Теплопроводность. Статистические препятствия. Примеси и нарушение решетки.</i>	<i>2 часа Влияние колебаний решетки. Общее рассмотрение. Столкновение при высоких температурах. Низкие температуры.</i>		<i>8 часов. Работа с лекционным материалом: Приближение Вигнера-Зейтца. Линейная цепочка. Трехмерная задача. Теплопроводность. Статистические препятствия. Примеси и нарушение решетки. Влияние колебаний решетки. Общее рассмотрение. Столкновение при высоких температурах. Низкие температуры.</i>	<i>ДЗ, Об, Оп</i>
6	Магнитные свойства металлов. Ферромагнетизм.	<i>2 часа Парамагнетизм. Диамагнетизм свободных электронов. Эффект Холла и сопротивление в магнитном поле. Модель Вейсса. Теория спиновых волн. Спиновые волны и ферромагнетизм. Рассеяние нейтронов. Антиферромагнетизм.</i>	<i>2 часа Влияние периодического поля. Одномерный случай в теории спиновых волн. Модель коллективизированных электронов.</i>		<i>8 часов. Работа с лекционным материалом: Парамагнетизм. Диамагнетизм свободных электронов. Эффект Холла и сопротивление в магнитном поле. Модель Вейсса. Теория спиновых волн. Спиновые волны и ферромагнетизм. Рассеяние нейтронов. Антиферромагнетизм.</i>	<i>ДЗ, Об, Оп</i>
7	Взаимодействие света с электронами в твердых телах	<i>2 часа Классическая теория. Переходы электронов между энергетическими уровнями. Фотоэффект. Непроводящие кристаллы.</i>	<i>2 часа. Решение задач на темы: переходов электронов между энергетическими уровнями и фотоэффекта.</i>		<i>8 часов. Работа с лекционным материалом: Переходы между энергетическими уровнями. Фотоэффект. Непроводящие кристаллы.</i>	<i>ДЗ, Об, Оп</i>
8	Полупроводники и люминесценция.	<i>2 часа. Полупроводники. Электрические свойства. Градиенты плотности и пространственный заряд. Выпрямляющие контакты. Электроны в неравновесном состоянии.</i>	<i>2 часа. Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Плотность состояний. Концентрация электронов и дырок в зонах. Концентрация электронов и дырок на локальных уровнях. Вольтамперная характеристика p-n-перехода.</i>		<i>8 часов. Работа с лекционным материалом: Полупроводники. Электрические свойства. Градиенты плотности и пространственный заряд. Выпрямляющие контакты. Электроны в неравновесном состоянии.</i>	<i>ДЗ, Об, Оп</i>
9.	Сверхпроводимость.	<i>2 часа. Общий обзор свойств. Магнитные свойства сверхпроводников I и II рода. Эффект Джозефсона и макроскопические квантовые явления. Флуктуационные эффекты.</i>			<i>8 часов. Работа с лекционным материалом: Общий обзор свойств. Магнитные свойства сверхпроводников I и II рода. Эффект Джозефсона и макроскопические квантовые явления. Флуктуационные эффекты.</i>	

Предусмотрены следующие формы текущего контроля успеваемости:

- Домашнее задание (ДЗ),
- Обсуждение (Об),
- Опрос (Оп).

## **9. Место дисциплины в структуре ООП ВПО**

1. Обязательная дисциплина.
2. Вариативная часть, профессиональный блок.
3. Дисциплина входит в модуль "Обязательные дисциплины", входящего в профессиональный блок вариативной части ООП ВПО. Дисциплина является теоретическим базисом к овладению современными методами численного расчета физических свойств наноструктур. Дисциплина дополняет дисциплины из ООП, посвященные квантовой физике, физике конденсированного состояния, физике магнитных явлений.
  - 3.1. Дисциплины и практики, которые должны быть освоены для начала освоения данной дисциплины:
    - дисциплины "Математический анализ", "Линейная алгебра", "Дифференциальные уравнения", "Интегральные уравнения и вариационное исчисление" из блока Б-ОН базовой части ООП ВПО,
    - дисциплины "Введение в квантовую физику", "Методы математической физики", "Квантовая теория" из блока Б-ПРОФ базовой части ООП ВПО.
  - 3.2. Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

Научно-исследовательская работа из блока "Научно-исследовательская работа" и выпускная квалификационная работа по направлению "Физика" из блока "Итоговая государственная аттестация".

## **10. Образовательные технологии**

Образовательные технологии, используемые при реализации различных видов учебной работы и дающие наиболее эффективные результаты освоения дисциплины:

- дискуссии,
- консультации
- преподавание дисциплин в форме авторских курсов по программам, составленным на основе результатов исследований научных школ МГУ,

## **11. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации**

Текущая аттестация проводится еженедельно. Критерии формирования оценки – посещаемость занятий, активность студентов на лекциях, восприятие излагаемого материала, выполнение домашних заданий.

Полный перечень вопросов к экзамену:

1. Кристаллическая решетка, базис, основные типы трехмерных решеток Браве. Базоцентрированная, объемоцентрированная, гранецентрированная. Индексы Миллера.
2. Типы межатомных связей.
3. Инфракрасное поглощение. Дифракция рентгеновских лучей.
4. Дисперсионное соотношение. Длинноволновый и коротковолновый пределы.
5. Теплоемкость твердых тел. Фононы.
6. Рассеяние света. Рассеяние нейтронов.

7. Теорема Блоха. Сильная связь. Почти свободные электроны.
8. Парамагнетизм. Диамагнетизм свободных электронов.
9. Эффект Холла и сопротивление в магнитном поле.
10. Спиновые волны и ферромагнетизм
11. Переходы электронов между энергетическими уровнями. Фотоэффект.
12. Уравнение Шредингера. Функции Блоха. Область определения волнового вектора и его дискретность.
13. Плотность состояний для 0D, 1D, 2D и 3D систем.
14. Статистика электронов в кристалле. Основные различия между металлами диэлектриками и полупроводниками.
15. Электропроводность металлов.
16. Собственные и примесные полупроводники. Донорные и акцепторные состояния. Элементарная теория примесных состояний.
17. Статистика носителей зарядов в полупроводниках. Взаимная компенсация доноров и акцепторов.
18. Вольтамперная характеристика p-n-перехода.
19. Магнитные свойства сверхпроводников I рода.
20. Магнитные свойства сверхпроводников II рода.
21. Эффект Джозефсона и макроскопические квантовые явления.

## **12. Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

Основная литература

1. Вонсовский С.В., Кацнельсон М.И. Квантовая физика твердого тела, Москва «Наука», 1989.
2. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела, Москва «Наука», 1989.
3. Н. Ашкрофт, Н. Мермин, Физика твердого тела: В двух томах / М.И Каганов, М.: Мир, 1979.
4. Блейкмор Дж. Физика твердого тела, Москва, «Мир», 1988.

Дополнительная литература

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, Теоретическая физика. Квантовая механика. т.3. М., Наука, 1989.
2. С. Лундквист, Н. Марч, Теория неоднородного электронного газа, М. «Мир», 1987.

## **13. Материально-техническое обеспечение**

В соответствии с требованиями п.5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика».

Лекции по дисциплине проводятся в аудитории им. А.Н. Матвеева (комн. 4-30) физического факультета. Лекционная аудитория обеспечена проекционным оборудованием и компьютером.