

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
ФИЛИАЛ МГУ В Г. ДУБНЕ

**УТВЕРЖДАЮ**  
**И.о. директора**  
**филиала МГУ в г.Дубне**  
/ Э.Э. Боос /  
«01» сентября 2024 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:**

Теория конденсированного состояния

---

**Уровень высшего образования:**

Магистратура

---

**Направление подготовки:**

03.04.02 Физика

---

**Направленность (профиль) ОПОП:**

Фундаментальная и прикладная ядерная физика

---

**Форма обучения:** Очная форма обучения

---

Дубна 2024 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки программы магистратуры 03.04.02 «Физика».

Год (годы) приема на обучение \_\_\_\_\_

**Авторы–составители:**

д.ф.м.н., член-корр. РАН, профессор Аксенов Виктор Лазаревич, по совместительству профессор филиала МГУ

**Руководитель магистерской программы:**

Доктор физ.-мат. наук, академик РАН Г.В. Трубников, заведующий кафедрой физического факультета МГУ

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины**

В курсе «Теория конденсированного состояния» содержатся базовые знания о современных теоретических методах, применяемых в физике конденсированного состояния вещества. В рамках курса студенты познакомятся с основными положениями квантовой теории твердого тела, а также одним из наиболее эффективных методов в теории многих тел – методом двухвременных функций Грина. Во время курса студентам демонстрируется приложение этого метода на примере основных моделей квантовой теории твердого тела (динамика кристаллической решетки, электроны в металлах, рассеяние частиц конденсированным веществом и др.). Целью курса является углубленное изучение и овладение студентами современных теоретических методов, применяемых в физике конденсированного состояния вещества.

### 1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Теория конденсированного состояния» реализуется на 2-ом курсе в 3-ем семестре магистратуры, относится к базовой части и является обязательной для освоения обучающимися.

### 2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Курсы математического анализа, линейной алгебры и дифференциальных уравнений, методов математической физики, раздел оптика из курса общей физики, разделы теоретическая механика, электродинамика и квантовая механика из курса теоретической физики, а также курсы атомной физики и физики атомного ядра и частиц.

### 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

Компетенции	Результаты обучения
ОПК-1	<p><u>Знать</u> основные законы, научные концепции и методы исследований в области современной физики конденсированного состояния</p> <p><u>Уметь</u> применять на практике результаты актуальных научных исследований в области современной физики конденсированного состояния</p> <p><u>Владеть</u> навыками применения современных научных принципов и методов исследования в области физики конденсированного состояния для решения профессиональных задач</p>
ПК-1	<p><u>Знать</u> разделы физики конденсированного состояния, необходимыми для решения поставленной научной задачи</p> <p><u>Уметь</u> применять экспериментальные и теоретические знания при решении поставленной научной задачи</p> <p><u>Владеть</u> экспериментальными и теоретическими методами</p>

	исследования при решении научных задач в области современной физики конденсированного состояния
МПК-1	<p><u>Знать</u> задачи теории конденсированного состояния и методы их решения в применении к физике рассеяния нейтронов в конденсированных средах.</p> <p><u>Уметь</u> качественно и количественно описывать процессы рассеяния нейтронов в конденсированных средах.</p> <p><u>Владеть</u> математическим аппаратом и знанием квантовой механики и иных разделов, необходимых для успешного решения задач теории рассеяния нейтронов в конденсированных средах.</p>
МПК-3	<p><u>Знать</u> основные численно-математические методы, применяемые в фундаментальной и прикладной теории рассеяния нейтронов в конденсированных средах</p> <p><u>Уметь</u> применять математические методы при решении поставленных научных задач фундаментальной и прикладной теории рассеяния нейтронов в конденсированных средах</p> <p><u>Владеть</u> современными численно-математическими методами при решении задач профессиональной деятельности в области фундаментальной и прикладной теории рассеяния нейтронов в конденсированных средах</p>

4. Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., в том числе: 36 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 36 академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Всего (ак.ч.)	В том числе					Форма текущего контроля успеваемости, наименование	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, академические часы <sup>1</sup>						работа обучающегося, академические
		Занятия лекционного типа (лекции)	Занятия семинарского типа			Всего		
			Семинары	Лабораторные занятия*	Практические занятия*			
Временные корреляционные функции	8	2	2			4	ОП	
Теория линейной реакции	10	2	2			6	ОП	
Рассеяние частиц в конденсированном веществе. физическая кинетика. Двухвременные функции Грина.	12	4	2			6	КР	

<sup>1</sup>Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий лекционного и(или) семинарского типа.

Динамика кристаллической решетки	14	6	2				6	КР
Взаимодействие фононов. Рассеяние фононов на примесях. электроны в металлах.	14	6	2				6	КР
Взаимодействие электронов с фононами. магноны	12	4	2				6	КР
Промежуточная аттестация	<b>2</b>						2	зачет
<b>Итого</b>	<b>72</b>	<b>36</b>					<b>36</b>	

\*Лабораторные занятия, практические занятия относятся к практической подготовке обучающихся.

## **6. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)**

### **6.1. Типовые задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения:**

#### Вопросы по теории:

1. Обменное взаимодействие. Приближение случайных фаз.
2. Кинетическое уравнение для одночастичной функции распределения.
3. Уравнение Фоккера-Планка. Уравнения для кинетики коагуляции.

#### Задачи:

1. Получить выражение для функции Грина смещений атомов кристаллической решетки в гармоническом приближении.
2. Получить гамильтониан кристаллической решетки в представлении вторичного квантования.
3. Пользуясь методом двухвременных функций Грина, определить частоту колебаний моноатомной линейной цепочки с взаимодействием ближайших соседей:

$$U = \frac{\alpha}{2} \sum_{l=1}^N (u_l - u_{l+a})^2, \text{ где } a - \text{ период цепочки, } \alpha - \text{ упругая постоянная.}$$

#### **Вопросов к зачету:**

1. Временные корреляционные функции
2. Основные понятия квантовой механики.
3. Метод вторичного квантования.
4. Операторы рождения и уничтожения частиц. Корреляционные функции (КФ).
5. Одночастичная и двухчастичная КФ. Временные КФ. Уравнения движения для КФ.
6. Теория линейной реакции. Реакция системы на механическое возмущение.
7. Метод Кубо. Обобщенная восприимчивость.
8. Изолированная, изотермическая восприимчивость системы.
9. Константа неэргодичности. Вариационный принцип Боголюбова.
10. Рассеяние частиц в конденсированном веществе
11. Формула Ван Хофа. Упругое рассеяние нейтронов.
12. Неупругое рассеяние нейтронов.
13. Магнитное рассеяние нейтронов.
14. Рассеяние заряженных частиц. Рассеяние света.
15. Уравнение Больцмана.
16. Кинетическое уравнение для одночастичной функции распределения.
17. Релаксационный член вместо интеграла столкновений.
18. Цепочка уравнений Боголюбова.
19. Уравнение Фоккера-Планка. Уравнения для кинетики коагуляции.
20. Двухвременные функции Грина (ДФГ).
21. Уравнение движения для ДФГ. Спектральные представления для КФ.
22. Спектральные представления для ДФГ. Дисперсионные соотношения для ДФГ.
23. Свойства симметрии ДФГ. Правила сумм.
24. Динамика кристаллической решетки
25. Гамильтониан кристаллической решетки.

26. Гармоническое приближение. Фононы.
27. Термодинамика кристалла в гармоническом приближении.
28. Взаимодействие фононов. Ангармоническое приближение.
29. Уравнение для ДФГ в ангармоническом приближении.
30. Рассеяние фононов на примесях. Гамильтониан решетки с примесями замещения.
31. Уравнение Дайсона. Локальные колебания. Резонансные колебания.
32. Электроны в металлах. Модель газа взаимодействующих электронов.
33. Модельный Гамильтониан. Отклик системы электронов на внешнее поле.
34. Диэлектрический формализм.
35. Обменное взаимодействие. Приближение случайных фаз.
36. Взаимодействие электронов с фононами, полный гамильтониан системы.
37. Уравнение движения для фононной ДФГ.
38. Уравнение движения для электрон-фононной ДФГ.
39. Магноны. Модель Гейзенберга.
40. Уравнение движения для ДФГ поперечных компонент оператора спина.
41. Приближение низких температур.
42. Приближение высоких температур вблизи точки Кюри.
43. Парамагнитная область.

## **6.2. Шкала и критерии оценивания**

Результат освоения дисциплины	Критерии оценивания знаний, умений и навыков			
	2/ не зачтено	3/ зачтено	4/ зачтено	5/ зачтено
Знания	Отсутствие знаний	В целом успешные, но не систематические знания	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания	Успешные и систематические знания
Умения	Отсутствие умения применять фундаментальных и актуальных проблем.	В целом успешное, но не систематическое умение применять знания	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение применять знания	Успешное и систематическое умение применять знания
Навыки	Отсутствие/фрагментарные навыки в решении задач	В целом успешные, но не систематические навыки в решении задач	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы	Успешные и систематические навыки в решении задач

			навыки решении задач	в	
--	--	--	-------------------------	---	--

## 7. Ресурсное обеспечение

### Основная литература

1. В.Л. Аксенов, Т.В. Тропин. Лекции по теории конденсированного состояния, М.: Физический факультет МГУ. 2020.
2. В.Л. Аксенов, А.М. Балагуров. Основы нейтронографии. М.: Изд. МГУ. 2023.

### Дополнительная литература

1. Н.М. Плакида. Некоторые вопросы теории твердого тела, М: МГУ, 1974.
2. Д.Н. Зубарев. Двухвременные функции Грина в статистической физике, УФН, Т. 71, № 1, с. 71-116.
3. Дж. Займан. Принципы теории твердого тела, М: Наука, 1974.
4. Д.Н. Зубарев. Неравновесная статистическая термодинамика, М.: Наука, 1971, §15, §16.
5. Д.Н. Зубарев, В.Г. Морозов, Г. Репке. Статистическая механика неравновесных процессов, т. 1, М: Физматлит, 2002.
6. Е.М. Лифшиц, Л.П. Питаевский. Статистическая физика, ч. 2, Теория конденсированного состояния, М: Физматлит, 2001 (3-е изд.).
7. С.В. Вонсовский, М.И. Кацнельсон. Квантовая физика твердого тела, М: Наука, 1983.

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Операционная система Microsoft Windows 10 Education академическая лицензия
2. Программный продукт Microsoft ProjectProfessional 2013 академическая лицензия
3. Программный продукт Microsoft VisioProfessional 2013 академическая лицензия
4. Программный продукт Microsoft VisualStudioProfessional 2013 - RUS академическая лицензия

### Материально-техническое обеспечение

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки «Физика», курс может быть прочитан в обычной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

## 8. Язык преподавания: русский