

*Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Российский университет дружбы народов»*

*Факультет физико-математических и естественных наук*

**Институт Физических Исследований и Технологий (ИФИТ)**

Рекомендовано МСЧН

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины** **Физика конденсированного состояния**

---

**Рекомендуется для направления подготовки/специальности**

03.06.01 Физика и астрономия

**Направленность программы (профиль)**

01.04.02 – теоретическая физика

**Квалификация (степень) выпускника**

Исследователь. Преподаватель-исследователь.

**1. Цели и задачи дисциплины:** Основной целью курса является овладение учащимися основами физики конденсированных сред. Нацелено на восстановление и закрепление на более высоком математическом уровне знаний в области физики сплошных сред, полученных в курсах общей и теоретической физики, а также в специальных курсах магистратуры.

**2. Место дисциплины в структуре ОП ВО:**

Дисциплина относится к вариативной части. Курс по выбору

**3. Требования к результатам освоения дисциплины:**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- Владение фундаментальными знаниями в основных разделах теоретической физики, включая классическую и квантовую теорию поля, физику ядра и элементарных частиц, физику конденсированного состояния (ПК-2)

**4. Объем дисциплины и виды учебной работы**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц.

Вид учебной работы	Всего часов	
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	40	
В том числе:	-	
<i>Лекции</i>	20	
<i>Практические занятия (ПЗ)</i>	-	
<i>Семинары (С)</i>	20	
<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>	-	
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	68	
Общая трудоемкость	час	108
	зач. ед.	3

**5. Содержание дисциплины**

**5.1. Содержание разделов дисциплины**

Название разделов (тем) дисциплины	Краткое содержание разделов (тем) дисциплины:
1. Основные динамические и термодинамические параметры описания состояния вещества.	Конденсированное состояние вещества – жидкое, твердое и промежуточное («мягкое»). Понятие о моно- и поликристаллах. Роль квантовых эффектов в физике конденсированного состояния. Понятие о параметрах порядка и квазичастицах.
2. Электрические свойства кристаллов.	Основы квазиклассической теории металлов по Друде – Лоренцу и Зоммерфельду. Квантовые состояния электронов в кристаллах. Уравнение Шредингера для многочастичной волновой функции в кристаллах.

	Адиабатическое приближение и приближение самосогласованного поля.
3. Приближение слабо связанных электронов.	Одномерная задача Кронига – Пенни. Роль периодичности кристаллического поля. Функции Блоха и зоны Бриллюэна. Полосы (зоны) разрешенных и запрещенных состояний в кристаллах. Приближение сильно связанных электронов. Функции Ванье. Металлы, полупроводники и диэлектрики. Энергия и поверхность Ферми и химический потенциал. Статистика электронов в металле. Электронная теплоемкость и теплопроводность.
4. Понятие о современных методах расчета энергетического спектра кристаллов.	Метод псевдопотенциала. Анизотропия зонной структуры и роль многодолинности. Закон дисперсии электронов и дырок и понятие об эффективной массе. Понятие об экситонах.
5. Электрон-фононное взаимодействие.	Феномен Купера и теория Бардина-Купера-Шриффера-Боголюбова. Понятие о сверхпроводниках и физических эффектах в них - Лондона, Мейснера, Джозефсона, ВТСП. Квантовые жидкости и сверхтекучесть.
6. Низкоразмерные вещества (нити, пленки, «слойки») и их электрические свойства (на примере графена).	Понятие о мезоскопических явлениях в квантовых точках и проволоках. Эффект Холла и его квантовый аналог. Взаимодействие твердых тел с излучением. Понятие о поляритонах и плазмонах в металлах.
7. Магнитные свойства кристаллов.	Слабые магнетики – диа- и парамагнетики. Состояния блоховских электронов в магнитном поле. Квантовые уровни Ландау. Диамагнетизм Ландау и парамагнетизм Паули. Циклотронная и ларморовская частота, квантовые осцилляционные и размерные явления. Плазменные колебания в металлах.
8. Сильные магнетики – ферро-, антиферро- и ферримагнетики.	Обменное взаимодействие и его электростатическая природа. Магнитные фазовые переходы 1-го и 2-го рода. Роль магнитоупругого взаимодействия и поверхности в свойствах магнетиков. Понятие магнитных доменов и магнитного гистерезиса.
9. Магнитокалорический эффект и его практическое применение.	Понятие о спинтронике и метаматериалах как новом классе магнетиков. Оптические свойства магнетиков. Магнитный резонанс

	в сильных магнетиках. Спиновые волны (магноны) и коллективные возбуждения (в том числе солитонного типа) в сильных магнетиках.
10. Упругие свойства твердых тел.	Механические напряжения и деформации. Тензор упругих постоянных. Связь симметрии и структуры с физическими свойствами кристаллов. Пластичность и прочность твердых тел. Кинетическая теория прочности. Упрочнение и внутреннее трение. Распространение упругих волн в кристаллах.
11. Гармоническое приближение для идеального кристалла.	Модели Эйнштейна и Дебая. Понятие фононов и их спектров. Теплоемкость простых кристаллов. Ангармоническая модель и тепловое расширение кристалла. Модель Ми – Грюнайзена и уравнение состояния твердого тела. Фазовые переходы и полиморфизм кристаллов.
12. Теплопроводность кристалла и закон Видемана – Франца.	Неидеальный (реальный) кристалл: вакансии, точечные дефекты и дислокации и их диффузия. Понятие о квантовых кристаллах и квантовой диффузии.
13. Поверхностные свойства твердых тел.	Электрофизические процессы на границе фаз. Работа выхода электронов из кристаллов. Термо-, авто- и фотоэлектронная эмиссия. Контактная разность потенциалов. Внутренняя и внешняя фотопроводимость.
14-15. Гели, гидро- и аэрозоли.	Сверхвязкие жидкости и аморфные твердые тела. Жидкие кристаллы – нематик и смектик. Стекла – структурные, металлические и спиновые. Полимеры и биополимеры. Роль конденсированного состояния для биологической формы организации. Фуллерены и другие материалы для нанотехнологий.
16-17. Понятие об экзотических и экстремальных состояниях вещества и их роли в астрофизике и космологии.	Ядерная и адронная материя, пульсары, нейтронные звезды и сверхтекучесть в них, кварк-глюонная плазма и т.п. Эволюция Вселенной как каскад фазовых переходов в ходе адиабатического расширения и охлаждения.

## 6. Лабораторный практикум не предусмотрен

### 7. Структура курса

Количество аудиторных часов: 10 лекций по 2 аудиторных часа; 10 семинаров по 2 аудиторных часа. Всего: 40 аудиторных часов.

Самостоятельная работа: 68 часов.

**Итого:** 108 часов.

### **Темы занятий**

#### ***Организационно-методическое построение курса.***

Курс состоит из лекций, практических занятий (семинаров), предусмотрено проведение консультаций. Лекции проводятся в интерактивном режиме – слушатели вовлекаются в дискуссию методом постановки вопросов по представленному материалу, а также по материалу, отвечающему базовому уровню подготовки. Вопросы формулируются в форме, провоцирующей активную реакцию слушателей.

Формат семинара – разбор материала, данного слушателям для самостоятельной проработки с целью лучшего усвоения и закрепления полученных знаний, а также для получения опыта их практического использования. Материал имеет форму практических задач, решение которых требует как аналитических, выкладок так иногда и ограниченного компьютерного моделирования. Семинар проходит в дискуссионной форме и носит характер мастер-класса.

Промежуточная аттестация в течение семестра проводится в виде теста по пройденному материалу. В конце семестра – экзамен в письменной форме. Экзаменационная заданье содержит только задачи, решение которых требует активного использования полученных в течение семестра знаний. После собеседования выставляется итоговая оценка.

### ***Содержание курса***

Содержание курса посвящено изложению фундаментальных сведений по строению вещества на всех иерархических уровнях конденсированного состояния вещества, в том числе твердых тел, жидкостей, полимеров, биологических структур и живой материи. Даются основные представления о методах описания этих структур и их роли в строении вещества. Курс опирается на квантовую механику, релятивистскую механику и электродинамику. Предполагается знание основ термодинамики и статистической физики.

### **Темы лекций**

Лекция 1. Основные динамические и термодинамические параметры описания состояния вещества. Газообразное состояние вещества – электронейтральное и плазменное. Конденсированное состояние вещества – жидкое, твердое и промежуточное («мягкое»). Понятие о моно- и поликристаллах. Роль квантовых эффектов в физике конденсированного состояния. Понятие о параметрах порядка и квазичастицах.

Лекция 2. Электрические свойства кристаллов. Основы квазиклассической теории металлов по Друде – Лоренцу и Зоммерфельду. Квантовые состояния электронов в кристаллах. Уравнение Шредингера для многочастичной волновой функции в кристаллах. Адиабатическое приближение и приближение самосогласованного поля.

Лекция 3. Приближение слабо связанных электронов. Одномерная задача Кронига – Пенни. Роль периодичности кристаллического поля. Функции Блоха и зоны Бриллюэна. Полосы (зоны) разрешенных и запрещенных состояний в кристаллах. Приближение сильно связанных электронов. Функции Ванье. Металлы, полупроводники и диэлектрики. Энергия и поверхность Ферми и химический потенциал. Статистика электронов в металле. Электронная теплоемкость и теплопроводность.

Лекция 4. Понятие о современных методах расчета энергетического спектра кристаллов. Метод псевдопотенциала. Анизотропия зонной структуры и роль многодолинности. Закон дисперсии электронов и дырок и понятие об эффективной массе. Понятие об экситонах. Роль примесей в легированных полупроводниках. Локализованные состояния электрона.

Лекция 5. Электрон-фононное взаимодействие. Феномен Купера и теория Бардина-Купера-Шриффера-Боголюбова. Понятие о сверхпроводниках и физических эффектах в них - Лондона, Мейснера, Джозефсона, ВТСП. Квантовые жидкости и сверхтекучесть.

Лекция 6. Низкоразмерные вещества (нити, пленки, «слойки») и их электрические свойства (на примере графена). Понятие о мезоскопических явлениях в квантовых точках и проволоках. Эффект Холла и его квантовый аналог. Взаимодействие твердых тел с излучением. Понятие о поляритонах и плазмонах в металлах.

Лекция 7. Магнитные свойства кристаллов. Слабые магнетики – диа- и парамагнетики. Состояния блоховских электронов в магнитном поле. Квантовые уровни Ландау. Диамагнетизм Ландау и парамагнетизм Паули. Циклотронная и ларморовская частота, квантовые осцилляционные и размерные явления. Плазменные колебания в металлах.

Лекция 8. Сильные магнетики – ферро-, антиферро- и ферримагнетики. Обменное взаимодействие и его электростатическая природа. Магнитные фазовые переходы 1-го и 2-го рода. Роль магнитоупругого взаимодействия и поверхности в свойствах магнетиков. Понятие магнитных доменов и магнитного гистерезиса.

Лекция 9. Магнитокалорический эффект и его практическое применение. Понятие о спинтронике и метаматериалах как новом классе магнетиков. Оптические свойства магнетиков. Магнитный резонанс в сильных магнетиках. Спиновые волны (магноны) и коллективные возбуждения (в том числе солитонного типа) в сильных магнетиках.

Лекция 10. Упругие свойства твердых тел. Механические напряжения и деформации. Тензор упругих постоянных. Связь симметрии и структуры с физическими свойствами кристаллов. Пластичность и прочность твердых тел. Кинетическая теория прочности. Упрочнение и внутреннее трение. Распространение упругих волн в кристаллах.

Лекции 11. Гармоническое приближение для идеального кристалла. Модели Эйнштейна и Дебая. Понятие фононов и их спектров. Теплоемкость простых кристаллов. Ангармоническая модель и тепловое расширение кристалла. Модель Ми – Грюнайзена и уравнение состояния твердого тела. Фазовые переходы и полиморфизм кристаллов.

Лекция 12. Теплопроводность кристалла и закон Видемана – Франца. Неидеальный (реальный) кристалл: вакансии, точечные дефекты и дислокации и их диффузия. Понятие о квантовых кристаллах и квантовой диффузии.

Лекция 13. Поверхностные свойства твердых тел. Электрохимические процессы на границе фаз. Работа выхода электронов из кристаллов. Термо-, авто- и фотоэлектронная эмиссия. Контактная разность потенциалов. Внутренняя и внешняя фотопроводимость.

Лекция 14-15. Гели, гидро- и аэрозоли. Сверхвязкие жидкости и аморфные твердые тела. Жидкие кристаллы – нематики и смектики. Стекла – структурные, металлические и спиновые. Полимеры и биополимеры. Роль конденсированного состояния для биологической формы организации. Фуллерены и другие материалы для нанотехнологий.

Лекции 16-17. Понятие об экзотических и экстремальных состояниях вещества и их роли в астрофизике и космологии – ядерная и адронная материя, пульсары, нейтронные звезды и сверхтекучесть в них, кварк-глюонная плазма и т.п. Эволюция Вселенной как каскад фазовых переходов в ходе адиабатического расширения и охлаждения.

### Учебно-тематический план

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	Лаб. занятия	Практ. занятия / семинары	Из них в ИФ	СРА	Всего часов
	Введение. Предмет и задачи дисциплины. Конденсированное состояние вещества – жидкое, твердое и промежуточное («мягкое»). Понятие о моно- и поликристаллах. Роль квантовых эффектов в физике конденсированного состояния. Понятие о параметрах порядка и квазичастицах.	3		3		8	14
2	Металлы, полупроводники и диэлектрики. Роль примесей в легированных полупроводниках. Понятие об экситонах. Понятие о сверхпроводниках и физических эффектах в них (Лондона, Мейснера, Джозефсона, ВТСП).	2		2	1	8	12
3	Низкоразмерные вещества (нити, пленки, «слойки») и их электрические свойства (на примере графена). Эффект Холла и его квантовый аналог. Взаимодействие твердых тел с излучением. Понятие об экситонах в полупроводниках, поляритонах и плазмонах в металлах	3		3	1	8	14
4	Слабые магнетики – диа- и парамагнетики. Сильные магнетики – ферро-, антиферро- и ферримагнетики. Фазовые переходы, доменные коллективные возбуждения (в том числе солитонного типа) в сильных магнетиках.	2		2	1	8	12
5	Магнитокалорический эффект и его практическое применение. Понятие о спинтронике и метамате-	2		2	2	7	11

	риалах как новом классе магнетиков. Оптические свойства магнетиков. Роль поверхности в свойствах магнетиков.						
6	Гармоническое приближение для идеального кристалла. Модели Эйнштейна и Дебая. Ангармоническая модель и тепловое расширение кристалла. Модель Ми – Грюнайзена и уравнение состояния твердого тела.	2		2	1	7	11
7	Теплопроводность кристалла и закон Видемана – Франца. Неидеальный (реальный) кристалл: вакансии, точечные дефекты и дислокации и их диффузия. Понятие о квантовых кристаллах и квантовой диффузии.	2		2	2	7	11
8	Гели, гидро- и аэрозоли. Сверхвязкие жидкости и аморфные твердые тела. Жидкие кристаллы – нематики и смектики. Стекла – структурные, металлические и спиновые. Полимеры и биополимеры. Фуллерены и другие материалы для нанотехнологий.	2		2	1	7	11
9	Понятие об экзотических и экстремальных состояниях вещества и их роли в астрофизике и космологии – ядерная и адронная материя, пульсары, нейтронные звезды и сверхтекучесть в них, кварк-глюонная плазма и т.п.	2		2		8	12
	ИТОГО	20		20	8	68	108

### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Мультимедийная аудитория или учебная аудитория с возможностью использования проектора и компьютерной техники для занятий по представлению презентационных материалов обучающимися. Компьютерные (дисплейные) классы с доступом к сети Интернет и электронно-образовательной среде Университета для проведения обучающимися самостоятельной работы и проведения компьютерного тестирования обучающихся (при необходимости).

### 9. Информационное обеспечение дисциплины:

а) программное обеспечение:

- ОС Windows, MS Office (программа корпоративного лицензирования (Microsoft Subscription) Enrollment for Education Solutions), браузер Firefox (лицензия MPL-2.0) или браузер Chrome (лицензия Google Chrome Terms of Service); Adobe Reader (Adobe Software License Agreement).



- ОС Linux, офисный пакет LibreOffice (лицензия MPL-2.0), ПО для просмотра pdf (например, evince (лицензия GPL-2+ CC-BY-SA-3.0)).
- б) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:
- Электронная библиотека РГБ <http://www.rsl.ru/>
  - Сайт библиотеки РУДН <http://lib.rudn.ru/>
  - Springer/Kluwer <http://www.springerlink.com>. Журналы и книги издательства Springer/Kluwer охватывают различные области знания и разбиты на предметные категории.
  - Tailor & Francis <http://www.informaworld.com>. Коллекция журналов насчитывает более 1000 наименований по всем областям знаний.
  - Электронная библиотека <http://www.rsl.ru/>

## 10. Учебно-методическое обеспечение дисциплины:

### *Литература*

#### Список обязательной литературы

1. Брандт Н.Б., Кульбачинский В.А. *Квазичастицы в физике конденсированного состояния*. М.: 2007. ФМЛ.
2. Миронова Г.А. *Конденсированное состояние вещества: от структурных единиц до живой материи*. Том 1. 2004. том 2. 2006. М.: Физический факультет МГУ.
3. Киржниц Д.А. *Лекции по физике*. М.: 2006. Физматлит.
4. Ципенюк Ю.М. *Квантовая макро- и микрофизика*. М.: 2006. Физматлит.

#### Список дополнительной литературы и источников в интернете

1. Рамбиди Н.Г. *От молекул до наноструктур*. Уч. пособие. М.: 2009. «Интеллект».
2. Квасников И.А. *Введение в теорию электропроводности и сверхпроводимости*. М.: 2009, УРСС.
3. Датта С. *Квантовый транспорт: от атома к транзистору*. М.: 2009. ИКИ-РХД
4. Имри Й. *Введение в мезоскопическую физику*. М.: 2002. Физматлит.
5. Хохлов А.Р., Кучанов С.И. *Лекции по физической химии полимеров*. М.: 2000. Мир.
6. Киржниц Д.А. *На стыке ядерной и «твердотельной» физики*. М.: 1996. Изд-во МГУ.
7. Каганов М.И., Френкель В.Я. *Вехи истории физики твердого тела*. М.: 1981, Знание.

## 11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

### *Организационно-методическое построение курса.*

Курс состоит из лекций, практических занятий (семинаров), предусмотрено проведение консультаций. Лекции проводятся в интерактивном режиме – слушатели вовлекаются в дискуссию методом постановки вопросов по представленному материалу, а также по материалу, отвечающему базовому уровню подготовки. Вопросы формулируются в форме, провоцирующей активную реакцию слушателей.

Формат семинара – разбор материала, данного слушателям для самостоятельной проработки с целью лучшего усвоения и закрепления полученных знаний, а также для получения опыта их практического использования. Материал имеет форму практических задач, решение которых требует как аналитических, выкладок так иногда и ограниченного компьютерного моделирования. Семинар проходит в дискуссионной форме и носит характер мастер-класса.

Промежуточная аттестация в течение семестра проводится в виде теста по пройденному материалу. В конце семестра – экзамен в письменной форме. Экзаменационная заданье содержит только задачи, решение которых требует активного использования полученных в течение семестра знаний. После собеседования выставляется итоговая оценка.

## **12. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)**

Материалы для оценки уровня освоения учебного материала дисциплины «Физика конденсированного состояния» (оценочные материалы), включающие в себя перечень компетенций с указанием этапов их формирования, описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания, типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций, разработаны в полном объеме и доступны для обучающихся на странице дисциплины в ТУИС РУДН.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО РУДН.

Руководитель направления 03.06.01 «Физика и астрономия»

Директор института физических исследований и технологий,

д.ф.-м.н., профессор



О.Т. Лоза