

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

Факультет физико-математических и естественных наук

Институт Физических Исследований и Технологий (ИФИТ)

Рекомендовано МССН

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	
Аудиторные занятия (всего)	40	
В том числе:	-	
<i>Лекции</i>	20	
<i>Практические занятия (ПЗ)</i>	-	
<i>Семинары (С)</i>	20	
<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>	-	
Самостоятельная работа (всего)	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 задание 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 – нематика 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 заданная 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