

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 13.09.2022 14:50:45  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fe2ad1b675f08

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тверской государственный университет»  
Физико-технический факультет



Утверждаю:

Руководитель ООП

Мальшкина О.В.

«13» марта 2017

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Физика конденсированного состояния**

Квалификация

**Исследователь. Преподаватель-исследователь**

Направление подготовки

**03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ**

Специальность

**01.04.07 – Физика конденсированного состояния**

Для аспирантов 2 года обучения

Составитель: д.ф.-м.н., профессор Мальшкина О.В.

## I. Аннотация

### 1. Наименование дисциплины в соответствии с учебным планом

Физика конденсированного состояния

### 2. Цель и задачи дисциплины

*Целями освоения дисциплины* является: изучение теоретических основ макроскопического и микроскопического описания физических свойств материалов, находящихся в конденсированном состоянии и рассмотрение различных аспектов их практического применения.

*Задачами освоения дисциплины* является формирование четкого понимания основных понятиях и идей современной физики конденсированного состояния; подготовка аспирантов к изучению, в случае необходимости, специальных обзоров и оригинальных работ по отдельным вопросам данной области знания.

### 3. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина является обязательной дисциплиной вариативной части блока 1 направления подготовки 03.06.01 – Физика и Астрономия, направленность 01.04.07 – Физика конденсированного состояния. Дисциплина изучается на втором году обучения и имеет логические и содержательно – методические взаимосвязи с дисциплинами по выбору вариативной части ООП. Для освоения дисциплины от слушателей требуются предварительные знания и навыки из курсов направления подготовки магистратуры 03.04.02 «Физика» и 03.04.03 «Радиофизика». Дисциплина "физика конденсированного состояния" обеспечивает подготовку к сдаче кандидатского минимума по специальности.

**4. Общая трудоемкость дисциплины** составляет 3 зач. ед., 108 академических часов, в том числе контактная работа: Лекции 4 час., практические занятия 6 час., самостоятельная работа 98 часов.

### 5. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Планируемые результаты освоения образовательной программы (Формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с	<b>Владеть:</b> информационными технологиями, с помощью которых возможно получение новых знаний, необходимых для коммуникации в научной и производственной сферах деятельности. <b>Уметь</b> использовать знания современных проблем физики конденсированного состояния и ее новейших достижений в своей научно-исследовательской деятельности, оценивать и выбирать материал с соответствующими физическими

использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	характеристиками, необходимыми для решения технических и научно-исследовательских задач физики конденсированного состояния. <b>Знать:</b> основы построения научных статей и научно-технической документации
ПК-1 способность самостоятельно ставить научные задачи в области физики и решать их с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта	<b>Владеть</b> постановкой научной задачи физики конденсированного состояния и умением решать их с помощью современной аппаратуры и зарубежного опыта.. <b>Знать</b> основные понятия и теоретические основы физики конденсированного состояния, современное состояние научных исследований в данной области.
ПК-2 способность разрабатывать и описывать новые методики научно-исследовательской и/или инженерно-технологической деятельности	<b>Владеть</b> навыками внедрения результатов прикладных научных исследований в перспективные приборы, устройства и системы и оформления документации по обеспечению проведения научно-исследовательских работ. <b>Уметь</b> осуществлять выбор оборудования для решения научно-исследовательских задач физики конденсированного состояния. <b>Знать:</b> основные методики исследования структуры и физических свойств конденсированных материалов.

## 6. Форма промежуточной аттестации

зачет и экзамен на 2 году обучения.

7. Язык преподавания русский.

## II. Структура дисциплины

### 1. Структура дисциплины для студентов очной и заочной формы обучения

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)		Самостоятельная работа (час.)
		Лекции	Практические (лабораторные) работы	

<b>Классическая теория Друде</b> <b>Основы зонной теории</b> Уравнение Шредингера для кристалла. Адиабатическое приближение. Одно-электронное приближение. Периодическое поле и оператор трансляции. Приближение сильносвязанных электронов. Образование зонной структуры. Число состояний в разрешенной зоне. Граничные условия Борна – Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс электрона. Зоны Бриллюэна. Закон дисперсии. Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов. Плотность квантовых состояний. Функция распределения электронов по энергетическим состояниям (функция Ферми-Дирака). Кинетическое уравнение Больцмана. Электропроводность полупроводников и металлов. Эффект Холла, магниторезистивный эффект. Термо-ЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение.	30	4	6	20
Экзамен	78			78
<b>ИТОГО:</b>	<b>108</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>98</b>

### III. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

– Вопросы к сдаче кандидатского минимума.

### IV. Фонды оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Контроль сформированности компетенции осуществляется с помощью оценочных средств на основе критериев, которые разрабатываются с целью выявления соответствия этапов освоения компетенции планируемому результату обучения (см. карту компетенций).

**1. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ОПК-1 «Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий».**

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
Промежуточный  <b>Владеть:</b> информационными технологиями, с помощью которых возможно	1. Эффект Холла. 2. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Тема актуальна и сформулирована грамотно – 1 балл;</li> <li>• корректно использован</li> </ul>

<p>получение новых знаний, необходимых для коммуникации в научной и производственной сферах деятельности.</p> <p><b>Уметь</b> использовать знания современных проблем физики конденсированного состояния и ее новейших достижений в своей научно-исследовательской деятельности, оценивать и выбирать материал с соответствующими физическими характеристиками, необходимыми для решения технических и научно-исследовательских задач физики конденсированного состояния.</p> <p><b>Знать:</b> основы построения научных статей и научно-технической документации</p>		<p>понятийный аппарат; продемонстрирован большой лексический запас, логичность и ясность изложения – 2 балла;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• использованы публикации последних лет – 1 балл;</li> <li>• определена позиция автора; предложен и аргументирован собственный взгляд на проблему – 2 балл;</li> </ul>
---	--	---

**1. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-1 «Способность самостоятельно ставить научные задачи в области физики и решать их с использованием современного оборудования и новейшего отечественного и зарубежного опыта».**

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
<p>заключительный</p> <p><b>Владеть</b> постановкой научной задачи физики конденсированного состояния и умением решать их с помощью современной аппаратуры и зарубежного опыта.</p> <p><b>Знать</b> основные понятия и теоретические основы физики конденсированного</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Основные приближения зонной теории.</li> <li>2. Граничные условия Борна–Кармана.</li> <li>3. Теорема Блоха. Блоховские функции.</li> </ol>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Тема актуальна и сформулирована грамотно – 1 балл;</li> <li>• корректно использован понятийный аппарат; продемонстрирован большой лексический запас, логичность и ясность изложения – 2 балла;</li> </ul>

состояния, современное состояние научных исследований в данной области.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• использованы публикации последних лет – 1 балл;</li> <li>• определена позиция автора; предложен и аргументирован собственный взгляд на проблему – 2 балл;</li> </ul>
---	--	---

**1. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции ПК-2 «Способность разрабатывать и описывать новые методики научно-исследовательской и/или инженерно-технологической деятельности».**

<b>Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина</b>	<b>Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков (2-3 примера)</b>	<b>Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания</b>
<p>Начальный</p> <p><i>Знать:</i> основные методики исследования структуры и физических свойств конденсированных материалов.</p> <p>Заключительный</p> <p><i>Владеть</i> навыками внедрения результатов прикладных научных исследований в перспективные приборы, устройства и системы и оформления документации по обеспечению проведения научно-исследовательских работ.</p> <p><i>Уметь</i> осуществлять выбор оборудования для решения научно-исследовательских задач физики конденсированного состояния.</p>	<p>1. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO<sub>3</sub></p> <p>2. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Тема актуальна и сформулирована грамотно – 1 балл;</li> <li>• корректно использован понятийный аппарат; продемонстрирован большой лексический запас, логичность и ясность изложения – 2 балла;</li> <li>• использованы публикации последних лет – 1 балл;</li> <li>• определена позиция автора; предложен и аргументирован собственный взгляд на проблему – 2 балл;</li> </ul>

## **V. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

### а) основная литература:

1. Франк-Каменецкая, О.В. Кристаллофизика : учебное пособие / О.В. Франк-Каменецкая ; Санкт-Петербургский государственный университет. - СПб.: Издательство Санкт-Петербургского Государственного Университета, 2016. - 84 с. : схем., ил. - ISBN 978-5-288-05673-4; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457943>
2. Басалаев, Ю.М. Кристаллофизика и кристаллохимия : учебное пособие / Ю.М. Басалаев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кемеровский государственный университет». - Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2014. - 403 с. : ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-8353-1712-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=278304>
3. Шалимова, К.В. Физика полупроводников [Электронный ресурс] : учеб. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 384 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/648>.
4. Томилин, В.И. Физическое материаловедение. В 2 частях : учебное пособие / В.И. Томилин, Н.П. Томилина, В.А. Бахтина. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2012. - Ч. 1. Пассивные диэлектрики. - 280 с. - ISBN 978-5-7638-2510-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=229343>
5. Боровик, Евгений Станиславович. Лекции по магнетизму / Е. С. Боровик, В. В. Еременко, А. С. Мильнер. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 510 с. <http://www.biblioclub.ru/index.php?page=book&id=75475>
6. Физика твердого тела: учебное пособие / Ю.А. Стрекалов, Н.А. Тенякова. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2013. - 307 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (переплет) ISBN 978-5-369-00967-3 <http://znanium.com/go.php?id=363421>

### б) дополнительная литература

1. Пацева, Ю.В. Электромагнетизм : лекции по физике / Ю.В. Пацева. - М. ; Берлин : Директ-Медиа, 2015. - 124 с. : ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-4031-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=298188>
2. Федотов, А.К. Физическое материаловедение : учебное пособие : в 3-х ч. / А.К. Федотов. - Минск : Вышэйшая школа, 2010. - Ч. 1. Физика твердого тела. - 400 с. : ил. - ISBN 978-985-06-1918-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=119759>
3. Четверикова, А.Г. Кристаллография : учебное пособие / А.Г. Четверикова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет». - Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2012. - 104 с. : ил., схем., табл. - Библиогр.: с. 85-87. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=260745>

## **VI. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины**

- 2) журнал «Физика твердого тела» <http://journals.ioffe.ru/journals/1>
- 3) <http://physics.info/dielectrics/>
- 4) свойства материалов <http://materials.springer.com/>

## **VII. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Вопросы к экзамену по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

### **ЧАСТЬ I**

#### **1. Силы связи в твердых телах**

- 1.1 Электронная структура атомов.
- 1.2 Химическая связь и валентность.
- 1.3 Типы сил связи в конденсированном состоянии: ван-дер-ваальсова связь.
- 1.4 Типы сил связи в конденсированном состоянии: ионная связь, ковалентная связь.
- 1.5 Типы сил связи в конденсированном состоянии: металлическая связь.
- 1.6 Химическая связь и ближний порядок.
- 1.7 Структура вещества с ненаправленным взаимодействием.
- 1.8 Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ.
- 1.9 Структура типа CsCl, типа NaCl.
- 1.10 Структура типа перовскита CaTiO<sub>3</sub>.
- 1.11 Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена.
- 1.12 Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

#### **2. Симметрия твердых тел**

- 2.1 Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность.
- 2.2 Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтца.
- 2.3 Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле.
- 2.4 Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.
- 2.5 Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции.
- 2.6 Операции (преобразования) симметрии.
- 2.7 Элементы теории групп, группы симметрии.
- 2.8 Возможные порядки поворотных осей в кристалле.
- 2.9 Пространственные и точечные группы (кристаллические классы).
- 2.10 Решетка Браве. Классификация решеток Браве.

#### **3. Дефекты в твердых телах**

- 3.1 Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.
- 3.2 Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

#### **4. Дифракция в кристаллах**

- 4.1 Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле.
- 4.2 Распространение волн в кристаллах. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.
- 4.3 Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы.
- 4.4 Дифракция в аморфных веществах.

#### **5. Колебания решетки**



- 5.1 Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов.
- 5.2 Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания.
- 5.3 Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

## ЧАСТЬ II

### 6. Тепловые свойства твердых тел

- 6.1 Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость.
- 6.2 Теплоемкость твердых тел. Электронная теплоемкость.
- 6.3 Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.
- 6.4 Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.
- 6.5 Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.
- 6.6 Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.
- 6.7 Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана – Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

### 7. Электронные свойства твердых тел

- 7.1 Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде. Проводимость.
- 7.2 Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде. Эффект Холла.
- 7.3 Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде. ТермоЭДС.
- 7.4 Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде. Фотопроводимость. Оптическое поглощение.
- 7.5 Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна – Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции.
- 7.6 Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.
- 7.7 Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии.
- 7.8 Приближение сильносвязанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.
- 7.9 Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.
- 7.10 Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы.
- 7.11 Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Диэлектрики
- 7.12 Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Полупроводники.
- 7.13 Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Полуметаллы.
- 7.14 Классификация диэлектриков. Основные процессы, протекающие в твердых телах под действием электрического поля. Тепловая, ионная и ориентационная поляризации.
- 7.15 Электромеханические свойства диэлектриков. Пьезоэлектрический эффект.

7.16 Природа спонтанной поляризации диэлектриков. Основные понятия физики сегнетоэлектричества. Фазовый переход в сегнетоэлектрическое состояние. Доменная структура. Пироэлектрический эффект.

## **8. Магнитные свойства твердых тел**

- 8.1 Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри – Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.
- 8.2 Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.
- 8.3 Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).
- 8.4 Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.
- 8.5 Спиновые волны, магноны.
- 8.6 Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

## **9. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел**

- 9.1 Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные.
- 9.2 Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса—Кронига.
- 9.3 Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.
- 9.4 Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра).
- 9.5 Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

## **10. Сверхпроводимость**

- 10.1 Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток.
- 10.2 Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.
- 10.3 Эффект Джозефсона.
- 10.4 Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

## **VIII. Перечень педагогических и информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (по необходимости)**

Процесс обучения включает аудиторные занятия путем проведения лекционных и семинарских занятий, групповые и индивидуальные консультации, текущий контроль полученных знаний, использование различных форм научно-исследовательской деятельности, самостоятельную работу, а так же проведение итогового контроля.

Выработка профессиональных навыков и умений предполагает широкое использование в ходе образовательного процесса интерактивных методик обучения. Использование активных методов обучения имеет целью конструктивное вовлечение аспирантов в учебный процесс, активизацию учебно-познавательной деятельности.

Активные методы обучения предполагают деловое сотрудничество, взаимодействие, обмен информацией, более глубокое усвоение материала, понимание сущности изучаемых явлений, и как результат – получение соответствующих знаний, умений и навыков, формирование компетенций.

**IX. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

<b>Наименование специальных помещений</b>	<b>Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа</b>
Учебная аудитория № 28 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	1. Комплект учебной мебели на 25 посадочных мест. 2. Экран настенный 153x203 3. Переносной комплект мультимедийной техники.	Adobe Acrobat Reader DC – бесплатно Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017 Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г. Google Chrome – бесплатно MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017

**X. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины**

<b>№п.п.</b>	<b>Обновленный раздел рабочей программы дисциплины (или модуля)</b>	<b>Описание внесенных изменений</b>	<b>Дата и протокол заседания кафедры, утвердившего изменения</b>
1.	Перечень рекомендуемой дополнительной литературы	Уточнен перечень рекомендуемой дополнительной литературы	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.