

Учебно-методическое объединение по классическому университетскому образованию

СОГЛАСОВАНО

Академик-секретарь ОФН РАН,  
Матвеев В.А.

от « 10 » 12 2010 г.



УТВЕРЖДАЮ

Председатель Совета УМО,  
академик РАН  
Садовничий В.А.

от « 29 » декабря 2010 г.



**Примерная основная образовательная программа  
высшего профессионального образования**

**Направление подготовки**

**011200 - физика**

утверждено приказом Минобрнауки России от 17 сентября 2009 г. № 337  
ФГОС ВПО утвержден приказом Минобрнауки России от 18 ноября 2009 г.

№ 637

Квалификация (степень) выпускника магистр

Нормативный срок освоения программы 2 года

Форма обучения - очная.

Москва 2010

## **Требования к результатам освоения основной образовательной программы**

Выпускник должен обладать следующими **общекультурными компетенциями (ОК):**

*способностью демонстрировать углубленные знания в области математики и естественных наук (ОК-1);*

*способностью демонстрировать углубленные знания в области гуманитарных и экономических наук (ОК-2);*

*способностью самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности, расширять и углублять своё научное мировоззрение (ОК-3);*

*способностью использовать углублённые знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально-значимых проектов (ОК-4);*

*способностью порождать новые идеи (креативность) (ОК-5);*

*способностью совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, добиваться нравственного и физического совершенствования своей личности (ОК-6);*

*способностью адаптироваться к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности, к изменению социокультурных и социальных условий деятельности (ОК-7);*

*способностью к коммуникации в научной, производственной и социально-общественной сферах деятельности, свободное владение русским и иностранным языками как средством делового общения (ОК-8);*

*способностью к активной социальной мобильности, способностью к организации научно-исследовательских и научно-производственных работ, способностью к управлению научным коллективом (ОК-9);*

*способностью использовать базовые знания и навыки управления информацией для решения исследовательских профессиональных задач, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны (ОК – 10).*

Выпускник должен обладать следующими **профессиональными компетенциями (ПК):**

**общепрофессиональными:**

*способностью свободно владеть фундаментальными разделами физики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач (в соответствии со своей магистерской программой) (ПК-1);*

*способностью использовать знания современных проблем физики, новейших достижений физики в своей научно-исследовательской деятельности (ПК-2);*

***научно-исследовательская деятельность:***

способностью самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики (в соответствии с профилем магистерской программы) и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования, информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (ПК-3);

способностью и готовностью применять на практике навыки составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей (в соответствии с профилем магистерской программы) (ПК-4);

способностью использовать свободное владение профессионально-профилированными знаниями в области информационных технологий, современных компьютерных сетей, программных продуктов и ресурсов Интернет для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами профильной подготовки (ПК-5);

***научно-инновационная деятельность:***

способностью свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач (в соответствии с профилем подготовки) (ПК-6);

способностью свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации (в соответствии с профилем подготовки) (ПК-7);

способностью проводить свою профессиональную деятельность с учетом социальных, этических и природоохранных аспектов (ПК-8);

***организационно-управленческая деятельность:***

способностью организовать и планировать физические исследования (ПК-9);

способностью организовать работу коллектива для решения профессиональных задач (ПК-10);

***педагогическая (в установленном порядке в соответствии с полученной дополнительной квалификацией) и просветительская деятельность:***

способностью руководить научно-исследовательской деятельностью студентов младших курсов и школьников в области физики (ПК-11).

По окончании освоения программы по направлению «Физика» выпускник должен продемонстрировать также компетенции, характерные для магистерской программы:

- способность разбираться в современном состоянии, теоретических работах и результатах экспериментов, входящих в программу,
- способность разбираться в методах исследований в объеме профессиональных дисциплин.

Компетенции магистерских программ должны учитывать региональные особенности и требования работодателей.

**ПРИМЕРНЫЙ УЧЕБНЫЙ ПЛАН**  
подготовки магистра по направлению подготовки 011200 - Физика

Квалификация (степень) - магистр  
Нормативный срок обучения – 2 года

№ п/п	Наименование дисциплин (в том числе практик)	Зачетные единицы	Академич еские часы	Примерное распределение по семестрам					
		Трудоёмкость по ФГОС	Трудоёмкость	1-й семестр	2-й семестр	3-й семестр	4-й семестр	Форма промежуточной аттестации	Компетенции*
				Количество недель					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>М.1 Общенаучный цикл</b>		<b>29</b>	<b>1044</b>						
	<b>Базовая часть</b>	<b>9</b>	<b>324</b>						
	Философские вопросы естествознания	4	144	+					
	Специальный физический практикум	5	180	+	+				
	<b>Вариативная часть, в т.ч. дисциплины по выбору студента</b>	<b>20</b>	<b>720</b>						
	<i>(Перечень вариативных дисциплин определяется вузом в соответствии с содержанием каждой магистерской программы) Например: магистерская программа Физика конденсированного состояния вещества Современные компьютерные технологии. Иностранный язык в сфере профессиональной коммуникации. Основы общей химии.</i>	13	468		+	+			
	<b>Дисциплины по выбору студента</b>	<b>7</b>	<b>252</b>						
	<i>(Перечень курсов по выбору определяется вузом в соответствии с содержанием каждой магистерской</i>								

ОК-1  
ОК-2  
ОК-3  
ОК-4  
ОК-6  
ОК-7  
ОК-8  
ОК-9  
ПК-5  
ПК-11

	программы) Например: магистерская программа Физика конденсированного состояния вещества Математическое моделирование физических процессов. Математическое моделирование в физическом материаловедении.								
<b>М.2 Профессиональный цикл</b>		<b>26</b>	<b>936</b>						
	<b>Базовая (общепрофессиональная) часть</b>	<b>7</b>	<b>252</b>						
	Современные проблемы физики	4	144	+					ОК-1 ОК-5 ОК-7
	История и методология физики	3	108	+					ОК-10
	<b>Вариативная часть**</b> , в т.ч. дисциплины по выбору студента Например: Магистерская программа Физика конденсированного состояния вещества	<b>19</b>	<b>684</b>		+				ПК-1 ПК-2
	Методы исследования структуры твердых тел. Дифракционный структурный анализ. Квантовая теория твердого тела. Введение в науку о полимерах. Методы диагностики и анализа микро- и наносистем.	12	432						ПК-5 ПК-6 ПК-7
	<b>Дисциплины по выбору студента</b>	7	252						ПК-8 ПК-9 ПК-10
	<i>Аналитическая наноскопия. Биополимеры. Молекулярные наночастицы, методы синтеза и перспективы применения. Молекулярные основы живых систем. Оптические методы исследования полимеров.</i>								
<b>М.3 Практика и научно-исследовательская работа</b>		<b>40</b>	<b>1440</b>						ОК-1 ОК-5 ОК-10
	<b>Научно-исследовательская и педагогическая практика</b>	30 (24+6)	1080	+	+	+	+		ПК-1 ПК-2 ПК-3 ПК-4 ПК-6 ПК-7
	<b>Научно-исследовательская работа</b>	10	360	+	+	+	+		

									ПК-8 ПК-11 ОК-1 ОК-5 ПК-1 ПК-2 ПК-3 ПК-4 ОК-1 ОК-5 ПК-1 ПК-3 ПК-4
<b>М.4 Итоговая государственная аттестация</b>		<b>25</b>	<b>900</b>				+		
	Подготовка и защита выпускной квалификационной работы (магистерской диссертации) и сдача государственного экзамена (по решению Ученого Совета)								
<b>Всего:</b>		<b>120</b>	<b>4320</b>						

\*) Компетенции, формируемые при изучении дисциплин вариативных частей М.1и М.2, разрабатываются вузами самостоятельно.

\*\*\*) Вариативная часть профессионального цикла учебного плана реализуется через авторские магистерские программы

## Примерные программы дисциплин

### Примерная программа дисциплины «Философские вопросы естествознания» (аннотация)

Основные понятия естественнонаучных знаний: субстанция, материя, сила, пространство, время, жизнь, развитие, закон природы. Проблемы познания связей и закономерностей явлений природы. История развития натурфилософских представлений. Причинно-механическая, физическая и органическая картины мира. Современные философские проблемы теории познания в естественных науках.

Общая трудоемкость дисциплины – 4 зач. ед.; основные виды учебной работы – лекции и семинары; форма промежуточной аттестации – экзамен.

### Примерная программа дисциплины «Специальный физический практикум» (аннотация)

Общая трудоемкость дисциплины – 5 зач. ед.; основные виды учебной работы – практические занятия; форма промежуточной аттестации – зачет, экзамен.

### Примерная программа дисциплины «Современные проблемы физики» (аннотация)

Единый курс, разрабатываемый и читаемый коллективом ведущих ученых - специалистов в различных областях современной физики, либо набор отдельных коротких курсов.

Общая трудоемкость дисциплины – 4 зач. ед.; основные виды учебной работы – лекции и семинары; форма промежуточной аттестации – зачет.

### Примерная программа дисциплины «История и методология физики» (аннотация)

Основные разделы и особенности современной физики, ее взаимосвязь с другими разделами естествознания. Возникновение и эволюция важнейших физических понятий. История развития физических методов исследования. Важнейшие достижения физики XX века. Сведения о жизни и научном творчестве величайших физиков прошлых времен и современности. Краткая история возникновения радиофизики: от задач радиолокации к современным проблемам акусто-радио-оптики, радиофизика как междисциплинарная наука, основоположники развития радиофизики в России.

Общая трудоемкость дисциплины – 3 зач. ед.; основные виды учебной работы – лекции и семинары; форма промежуточной аттестации – зачет.

**Примерная программа дисциплины**  
**«Квантовая теория твёрдого тела»**  
Магистерская программа  
Физика конденсированного состояния вещества

**1. Цели освоения дисциплины**

Целями освоения дисциплины «Квантовая теория твёрдого тела» являются:

- владение основами современной квантовой теории твёрдого тела, без которой невозможно творческое использование в практической деятельности уже известных физических явлений в твёрдых телах, восприятие, а тем более, генерацию новых физических идей;
- освоение студентами достижений квантовомеханического описания электронной и колебательной систем кристалла, на которых базируются термодинамика, токоперенос, сверхпроводимость в твёрдых телах;
- выработка у студентов практических навыков по решению задач квантовой теории твёрдого тела.

**2. Место дисциплины в структуре магистерской программы**

Дисциплина «Квантовая теория твёрдого тела» относится к вариативной части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 011200 – Физика, магистерская программа «Физика конденсированного состояния вещества». Для усвоения данного курса необходимо изучить некоторые модули (дисциплины) в рамках образовательной программы бакалавра по направлению Физика: модуль «Математика» базовой части цикла математических и естественно-научных дисциплин, модуль «Теоретическая физика» базовой части профессионального цикла. Данный курс предлагает более высокий уровень подготовки по сравнению с освоенным ранее курсом «Физика конденсированного состояния» в рамках образовательной программы бакалавра по направлению Физика.

**3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины «Квантовая теория твёрдого тела».**

*В результате освоения дисциплины «Квантовая теория твёрдого тела» формируются следующие компетенции:*

- способность демонстрировать углубленные знания в области математики и естественных наук (ОК-1);
- способность свободно владеть фундаментальными разделами физики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач (в соответствии со своей магистерской программой) (ПК-1);
- способность использовать знания современных проблем физики, новейших достижений физики в своей научно-исследовательской деятельности (ПК-2);
- способность свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации (в соответствии с профилем подготовки) (ПК-7);
- способность руководить научно-исследовательской деятельностью студентов младших курсов и школьников в области физики (ПК-11)

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

- **Знать:** Суть и границы применимости адиабатического приближения в разделении электронного и ядерного движений в кристалле, самосогласованных методов Хартри и Хартри-Фока, циклических граничных условий Борна-Кармана, изучение общих свойств электронов в периодическом поле, приближения почти свободных электронов и сильной



связи, принципов построения поверхности Ферми в металлах, приближения эффективной массы в законе дисперсии. Математическое описание колебаний решётки с применением нормальных координат и обобщенных импульсов, гармонического приближения, динамической матрицы, связь закона дисперсии колебаний со структурой и размерностью кристаллической решётки, квантование колебаний. Идеи Ландау об элементарных возбуждениях, квазичастицах. Вторичное квантование, взаимодействие элементарных возбуждений Ферми и Бозе с применением диаграмм Фейнмана на примере взаимодействия фононов друг с другом и ангармонических эффектов, электрон-фононного взаимодействия. Электрон-фонон-электронное взаимодействие в применении к описанию сверхпроводимости, идей Бардина, Купера, Шриффера и Боголюбова.

- Уметь объяснить суть физических явлений, рассматриваемых в курсе, связь между явлениями, представить математическое описание явлений, решать задачи по квантовой теории твёрдого тела.
- Владеть навыками решения задач по квантовой физике твёрдого тела и применения основных методов математической и теоретической физики к анализу и количественной оценке свойств твёрдых тел.

#### 4. Структура и содержание дисциплины «Квантовая теория твердого тела»

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц – 180 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоёмкость (в часах)				Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практ. зан.	Конс.	Самост. работа	
1	Введение	9	1	2	2		18	
2	Одноэлектронное приближение	9	2-5	8	4		18	
3	Колебания решётки	9	6-9	8	4		18	
4	Элементарные возбуждения, квазичастицы	9	10-13	8	4	2	18	Экзамен (9 семестр)
5	Сверхпроводимость	9	14-18	10	4		18	

Содержание разделов дисциплины

1. Введение. Уравнение Шредингера кристалла. Адиабатическое приближение.
2. Одноэлектронное приближение. Методы Хартри и Хартри-Фока. Общие свойства электрона в периодическом поле кристалла. Теорема Блоха. Периодичность и чётность энергии электрона в К-пространстве. Циклические условия Борна-Кармана. Зоны Бриллюэна. Число разрешённых значений волнового вектора в зоне Бриллюэна. Модель почти свободных электронов. Вывод уравнения для коэффициентов разложения волновой функции по плоским волнам. Модель почти свободных электронов. Теория возмущений до второго порядка для волновых функций и энергии электрона. Модель почти свободных электронов. Условие брэгговского отражения электронных волн. Границы зон Бриллюэна. Приближение сильной связи для электронов в кристалле. sp<sup>3</sup> гибридизация. Изоэнергетические поверхности. Поверхность Ферми. Метод Харрисона построения поверхностей Ферми. Эффективная масса в законе дисперсии для электронов в кристалле. Эффективная масса проводимости.

3. Колебания решётки. Нормальные координаты. Закон дисперсии для колебаний. Простая одномерная решётка, одномерная решётка с базисом. Обобщение на трёхмерный случай. Квантование колебаний решётки. Фононы. Вторичное квантование для фононов.
4. Элементарные возбуждения, квазичастицы. Виды элементарных возбуждений. Вторичное квантование для электронов. Взаимодействие между фононами. Ангармонические эффекты. Электрон-фононное взаимодействие. Рассеяние электронов.
5. Сверхпроводимость. Косвенное электрон-электронное взаимодействие в сверхпроводимости. Связанные электронные пары в Ферми-газе. Неустойчивость Ферми-системы при наличии притяжения электронов. Редуцированный гамильтониан БКШ. Сверхпроводник из двух частиц. Устойчивость токового состояния сверхпроводника.

### Практические занятия

В практической части студенты должны решить нижеуказанные задачи по разделам курса из учебного пособия - Демидов Е.С. “Задачи и вопросы по квантовой теории твёрдого тела”:

1. Записать уравнение Шредингера для кристалла. Объяснить физический смысл слагаемых оператора Гамильтона.
2. В адиабатическом приближении разделить переменные в уравнении Шредингера для кристалла, получить уравнения для электронной и ядерной частей.
3. Оценить порядок слагаемых уравнения Шредингера для кристалла, которыми пренебрегают при разделении электронного и ядерного движений в адиабатическом приближении.
4. Показать, что модулирующая часть  $u_k(\mathbf{r})$  волновой функции электрона  $\Psi_k(\mathbf{r})=u_k(\mathbf{r})\exp(i\mathbf{k}\mathbf{r})$  в периодическом поле кристалла является периодической функцией в реальном пространстве, т.е.  $u_k(\mathbf{r}+\mathbf{n})=u_k(\mathbf{r})$ , где  $\mathbf{n}$  – вектор трансляции решетки.
5. Показать, что энергия электрона в кристалле является четной и периодической функцией волнового вектора в обратном  $k$ -пространстве.
6. Показать, что кулоновская и обменная части потенциала электрона в приближении Хартри-Фока являются периодическими функциями, если использовать волновые функции электронов в форме функций Блоха  $\Psi_k(\mathbf{r})=u_k(\mathbf{r})\exp(i\mathbf{k}\mathbf{r})$ .
7. Показать, что волновой вектор электрона в периодическом поле определен неоднозначно.
8. Показать, что в центре и на некоторых гранях зоны Бриллюэна энергия электрона  $\varepsilon$  в зависимости от волнового вектора  $\mathbf{k}$  имеет экстремум. На каких гранях зоны Бриллюэна  $\nabla_{\mathbf{k}}\varepsilon=0$ .
9. Показать, что обратная решетка простой кубической решетки также является простой кубической.
10. Показать, что решетка, обратная гранецентрированной, объемцентрирована, и наоборот, решетка, обратная объемцентрированной, гранецентрирована.
11. Найти структуру решетки, обратной решетке со структурой алмаза.
12. Найти объем элементарной ячейки обратной решетки.
13. В приближении сильной связи, полагая атомные волновые функции электронов  $s$ -функциями, найти зависимость энергии электронов от волнового вектора в простой кубической решетке. Показать, что у дна и потолка получившейся при этом разрешенной зоны изоэнергетические поверхности сферически симметричны. Найти эффективные массы электронов у дна и потолка зоны. Рассмотреть случай объемцентрированной решетки; гранецентрированной решетки.
14. Показать, что условие отражения электронов от атомных плоскостей (аналог условия Вульфа-Брегга) эквивалентно равенству длин волн падающей и отраженной.
15. Вычислить поправки к энергии и волновой функции в приближении свободных электронов в первом и втором приближениях. Показать, что они стремятся к бесконечности на границе зон Бриллюэна.

16. Построить первые четыре зоны Бриллюэна для простой квадратной решетки, кубической решетки.
17. Какую долю зоны Бриллюэна отсекает поверхность Ферми в одновалентном, двухвалентном металле с простой кубической решеткой?
18. Построить методом Харрисона поверхности Ферми для простой квадратной решетки для одно-, двух-, трехвалентных металлов.
19. Показать, что в металлах возможна одновременно и электронная, и дырочная проводимость.
20. Запишите в гармоническом приближении выражение для потенциальной энергии атомов решетки в общем случае трехмерной решетки с несколькими атомами в элементарной ячейке. Покажите как это выражение упрощается при переходе к простой решетке, к двумерной, одномерной решетке.
21. В одномерном случае простой решетки смещение атома в  $n$ -ячейке можно представить через нормальные координаты  $A_q$  в форме  $\zeta_n = N^{-1/2} \sum_q A_q \cdot \exp(iqn)$ , где  $q$  - волновой вектор,  $N$  - число атомов кристалла. Покажите, что  $A_q = A_{-q}^*$ , т.е. при изменении знака волнового вектора соответствующая нормальная координата заменяется на комплексно сопряженную.
22. Покажите, что среди кубических операторов ангармоничности гамильтониана возможны только четыре типа, соответствующих четырем типам рассеяния. Изобразите эти процессы рассеяния графически с помощью фейнмановских диаграмм.
23. Объясните, почему запрещены процессы взаимодействия фононов, описываемые произведениями операторов вторичного квантования, содержащими только операторы рождения фононов или эрмитово сопряженными таким произведениям.
24. Объясните, почему нормальные процессы рассеяния фононов не влияют на теплосоппротивление кристаллов, почему конечная величина решеточного теплосоппротивления определяется процессами переброса.
25. Изобразите графически в пространстве волнового вектора фононов нормальный процесс рассеяния и процесс рассеяния с перебросом в схемах приведенных и расширенных зон.
26. Объясните, почему при низких температурах решеточное теплосоппротивление кристаллов быстро падает с уменьшением температуры по экспоненциальному закону  $\exp(-E_0/kT)$ . Чем определяется энергия  $E_0 > 0$  в этом выражении?
27. Исходя из правил действия операторов рождения  $b_q^+$  и уничтожения  $b_q$  фононов на состояния фононной системы, выведите коммутационные соотношения для этих операторов
28. Исходя из правил действия операторов рождения  $a_k^+$  и уничтожения  $a_k$  фермионов на состояния фермионной системы, выведите антикоммутационные соотношения для операторов:  $a_k, a_k^+ = \delta_{kk}$ ;  $a_k, a_k = 0$ .
29. Запишите операторы рождения и уничтожения фононов и состояния фононной системы в матричной форме.
30. Покажите, что число фононов является собственным значением оператора  $b_q^+ b_q$ . Найдите собственное значение оператора  $b_q^+ b_q$ .
31. Покажите, что число фермионов является собственным значением оператора  $a_q^+ a_q$ .
32. Покажите, что операторы рождения и уничтожения для фононов не являются эрмитовыми по отношению друг к другу.
33. Запишите операторы кинетической и потенциальной энергии системы электронов в представлении вторичного квантования.

34. Изобразите с помощью диаграмм Фейнмана процессы рассеяния электронов, описываемые этим оператором.
35. Изобразите в схемах расширенных и приведенных зон нормальное рассеяние электронов на фононах и рассеяние с перебросом в металле в пространстве волнового вектора.
36. Представьте в матричной форме и в графической форме диаграммой Фейнмана процесс виртуального испускания и поглощения фонона при движении электрона в кристалле.
37. Покажите, что одно из собственных значений редуцированного гамильтониана сверхпроводника из двух частиц равно  $2\epsilon_0 - 3V$ , т.е. ниже энергии пары невзаимодействующих электронов  $2\epsilon_0$  на  $3V$ , где  $V$  - параметр БКШ электрон-фонон-электронного взаимодействия.
38. Покажите, что токовое состояние в сверхпроводнике устойчиво (т.е. энергетически более выгодно, чем рассеянное) до некоторой величины дрейфовой скорости. Оцените величину предельной дрейфовой скорости и критическую плотность тока для сверхпроводника с шириной щели  $2\Delta_0 = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ эВ}$ .

### 5. Образовательные технологии

Занятия по дисциплине проходят в лекционной форме и в форме практических занятий, на которых, кроме решения задач, проводятся обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в данной области. Самостоятельная работа включает в себя выполнение домашних заданий и теоретическую подготовку к занятиям по материалам лекций и рекомендованной литературе, приведенной в конце данной программы.

### 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Самостоятельная работа студентов предусматривает выполнение домашних заданий, решение задач, изучение рекомендованной литературы и подготовку к экзамену.

Оценочные средства для контроля текущей успеваемости включают в себя устный опрос на занятиях в процессе решения выше приведенных задач, активность в обсуждении качественных вопросов и задач на практических занятиях.

Для контроля промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины «Квантовая теория твердого тела» используются задачи и нижеприведенные вопросы, включенные в экзаменационные билеты.

#### Вопросы для контроля

1. В каких случаях неприменимо адиабатическое приближение?
2. Укажите главный недостаток представления поля, действующего на данный электрон со стороны других электронов в форме (приближение Хартри).

$$U(r_i) = \sum_{j=1} \int \frac{e^2 |\Psi_j(r_j)|}{|r_j - r_i|} dr_j$$

3. Как он устраняется в приближении Хартри-Фока?
4. Укажите недостатки приближения Хартри-Фока.
5. Зачем вводятся циклические граничные условия Борна-Кармана?
6. Сколько значений волнового вектора в зоне Бриллюэна?
7. Что представляет собой решетка, обратная обратной?
8. Объяснить, почему элементы четвертой группы образуют кристаллы с полупроводниковыми свойствами.

9. Объяснить, почему щелочноземельные элементы в кристаллическом состоянии являются металлами.
10. В каких случаях число разрешенных состояний в энергетической зоне превышает число атомов кристалла?
11. Определить форму зоны Бриллюэна решетки со структурой алмаза.
12. Объяснить, каким образом построением поверхности Ферми методом Харрисона можно объяснить предпочтительность определенной структуры для данного металла (правило Юма-Розери).
13. Может ли быть поверхность Ферми в полупроводниках?
14. Объяснить физический смысл эффективной массы.
15. Какую массу следует взять для электронов при их движении под действием сил инерции или гравитации?
16. Объясните, почему запрещены процессы взаимодействия фононов, описываемые произведениями операторов вторичного квантования, содержащими только операторы рождения фононов или эрмитово сопряженными таким произведениям.
17. Объясните, почему нормальные процессы рассеяния фононов не влияют на теплосопrotivление кристаллов, почему конечная величина решеточного теплосопrotivления определяется процессами переброса.
18. Прокомментируйте плодотворность идеи об элементарных возбуждениях для физического описания поведения системы многих тел, выдвинутой Л.Д.Ландау. Приведите примеры элементарных возбуждений двух типов: коллективных возбуждений и квазичастиц.
19. Изобразите в схемах расширенных и приведенных зон нормальное рассеяние электронов на фононах и рассеяние с перебросом в металле в пространстве волнового вектора.
20. Объясните, почему у хорошо проводящих электрический ток металлов, таких как медь, серебро, золото, сверхпроводимость не обнаруживается даже при температурах в доли градуса Кельвина. Вместе с тем, у хуже проводящих в нормальном состоянии металлов (ртуть, свинец, ниобий) сверхпроводимость наблюдается до температуры 10К, т.е. они являются "хорошими" сверхпроводниками.
21. Укажите экспериментальные доказательства существования энергетической щели в электронном спектре в сверхпроводнике.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Квантовая теория твердого тела»**

### **а) основная литература:**

1. Демидов Е.С. Задачи и вопросы по квантовой теории твёрдого тела. Н. Новгород: ННГУ, 1997.
2. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твёрдого тела. Н.Новгород: ННГУ, 1993.
3. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твёрдого тела. М.: Мир, 1979.
4. Цидильковский И.М. Электроны и дырки в полупроводниках. М.: Наука, 1972.
5. Давыдов А.С. Теория твёрдого тела. М.: Наука, 1976.
6. Киттель Ч. Квантовая теория твёрдых тел. М.: Наука, 1967.
7. Брандт Н. Б., Кульбачинский В. А. Квазичастицы в физике конденсированного состояния, М., ФМЛ, 2005, 632 с.

### **б) дополнительная литература:**

1. Чупрунов Е. В., Хохлов А. Ф., Фаддеев М. А. Кристаллография, М., ФМЛ, 2000, 496 с.
2. Киреев П.С.. Физика полупроводников. М.: Высшая школа, 1975.
3. Горбачев В.В., Спицина Л.Г. Физика полупроводников и металлов. М.: Металлургия, 1976.

4. Ормонт Б.Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников. М.: Высшая школа, 1968.
5. Харрисон У. Теория твердого тела. М.: Мир, 1972.
6. Шалимова К.В. Физика полупроводников. М.: Энергия, 1976.
7. Абрикосов А.А. Введение в теорию нормальных металлов. М.: Наука, 1972.
8. Анималу А. Квантовая теория кристаллических твердых тел. М.: Мир, 1981.
9. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1966.
10. Лившиц И.М., Азбель М.Н., Каганов М.И. Электронная теория металлов. М.: Наука, 1971.
11. Блатт Ф. Физика электронной проводимости в твердых телах. М.: Мир, 1971.
12. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. М.: Наука, 1978.
13. Задачи по физике твердого тела. /Под ред. Дж.Голдсмита. М.: Наука, 1976.
14. Людвиг Дж., Вудберн Г. Электронный спиновый резонанс в полупроводниках. М.: Мир, 1964.
15. Маттук Р. Фейнмановские диаграммы в проблеме многих тел. М.: Мир, 1969.
16. Марч Н., Янг Я., Сампантхер С. Проблема многих тел в квантовой механике. М.: Мир, 1969.
17. Маделунг О. Теория твердого тела. М.: Наука, 1980.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины «Квантовая теория твердого тела»**

Материально-техническое обеспечение дисциплины «Квантовая теория твердого тела» обусловлено наличием необходимого количества учебников в библиотеке, некоторые из них представлены на сайте физического факультета в электронном виде. Кроме того, при необходимости выполнения некоторых математических расчетов студенты могут воспользоваться техническими возможностями терминал-класса с установленным лицензионным программным обеспечением.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО с учетом рекомендаций и ПрООП ВПО по направлению подготовки 011200 – Физика.

Автор: д.ф.-м.н., профессор кафедры электроники твердого тела физического факультета ННГУ Демидов Е.С.

Рецензент: д.ф.-м.н., профессор кафедры физики полупроводников и оптоэлектроники Павлов Д.А.

## **Программа научно-исследовательской практики**

### **Магистерская программа**

#### **Физика конденсированного состояния вещества**

### **1. Цели научно-исследовательской практики**

Целями научно-исследовательской практики являются: закрепление и углубление теоретической подготовки обучающегося, приобретение им практических навыков в научно-исследовательской работе, а также навыков самостоятельной работы в научно-исследовательском коллективе (развитие профессиональных компетенций ПК-1 – ПК-10);

### **2. Задачи научно-исследовательской практики**

Прохождения студентом научно-исследовательской практики относится к виду научно-исследовательской, научно-инновационной и организационно-управленческой деятельности студента, т.е. задачами научно-исследовательской практики являются:

- проведение научных исследований в рамках заданной тематики (как экспериментальных, так и теоретических);

- формулировка новых задач, возникающих в ходе научных исследований, выбор необходимых методов исследования;
- анализ получаемой физической информации с использованием современной вычислительной техники;
- работа с научной литературой с использованием новых информационных технологий, слежение за научной периодикой;
- применение результатов научных исследований в инновационной деятельности;
- разработка новых методов инженерно-технологической деятельности;
- участие в формулировке новых задач и разработке новых методических подходов в научно-инновационных исследованиях;
- обработка и анализ полученных данных с помощью современных информационных технологий, освоение нового оборудования как в рамках темы своей научно-исследовательской работы, так и вне ее;
- применение результатов научных исследований в инновационной деятельности;
- разработка новых методов инженерно-технологической деятельности;
- участие в формулировке новых задач и разработке новых методических подходов в научно-инновационных исследованиях;
- обработка и анализ полученных данных с помощью современных информационных технологий, освоение нового оборудования как в рамках темы своей научно-исследовательской работы, так и вне ее;
- участие в организации научно-исследовательских и научно-инновационных работ, контроль за соблюдением техники безопасности;
- участие в организации семинаров, конференций, составление рефератов, написание и оформление научных статей и докладов на конференциях и семинарах;
- участие в подготовке заявок на конкурсы грантов и оформлении научно-технических проектов, отчетов и патентов;
- участие в организации инфраструктуры предприятий, в том числе информационной и технологической.

### **3. Место научно-исследовательской практики в структуре магистерской программы**

Научно-педагогическая практика относится к циклу основной образовательной программы магистра по направлению 011200 -Физика М.3 – Практики и научно-исследовательская работа. Данная практика базируется на дисциплинах циклов основной образовательной программы М.1.Общенаучный цикл и М.2.Профессиональный цикл – Математическое моделирование (физических процессов, в физическом материаловедении (М.1); Современные проблемы физики, Методы исследования структуры твердых тел, дисциплины по выбору (М.2), а также на фундаментальных и профессиональных знаниях и навыках, полученных по образовательной программе бакалавра по направлению 011200 – Физика. При этом научно-исследовательская практика может проводиться параллельно с процессом обучения, позволяя применять полученные знания в научно-исследовательской работе.

Прохождение научно-исследовательской практики является необходимым для допуска обучающегося к итоговой государственной аттестации.

### **4. Формы проведения научно-исследовательской практики:**

Научно-исследовательская практика может проводиться в форме лабораторной или теоретической в зависимости от места проведения практики и поставленных задач. Как правило, тема научных исследований при прохождении практики студентом индивидуальна.

## **5. Место и время проведения практики**

Научно-исследовательская практика в рамках основной образовательной программы по направлению 011200 – Физика согласно календарному учебному графику проводится в течение 9, 10 семестров, при этом на данную практику выделяются 2 дня в неделю.

Между ГОУ ВПО и сторонними организациями заключаются договоры на прохождение научно-исследовательской практики.

Научно-исследовательская практика может также осуществляться в лабораториях факультета, а также в научно-исследовательских институтах, научно-образовательных центрах.

Отчетность по практике предусмотрена в 10 семестре в виде защиты отчета на кафедре, к которой относится обучающийся.

## **6 Компетенции обучающегося, формируемые в результате прохождения практики:**

ОК-1, ОК-5, ОК-10, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-7, ПК-8.

В результате прохождения данной практики обучающийся должен приобрести следующие практические навыки, умения, общекультурные (универсальные) и профессиональные компетенции:

### **общекультурные (ОК):**

- способность демонстрировать углубленные знания в области математики и естественных наук (ОК-1);
- способность порождать новые идеи (креативность) (ОК-5);
- способность использовать базовые знания и навыки управления информацией для решения исследовательских профессиональных задач, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны (ОК – 10).

### **профессиональные (ПК):**

- способность свободно владеть фундаментальными разделами физики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач (в соответствии со своей магистерской программой) (ПК-1);
- способностью использовать знания современных проблем физики, новейших достижений физики в своей научно-исследовательской деятельности (ПК-2);
- способностью самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики (в соответствии с профилем магистерской программы) и решать их с помощью современной аппаратуры, оборудования, информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (ПК-3);
- способностью и готовностью применять на практике навыки составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей (в соответствии с профилем магистерской программы) (ПК-4);
- способностью свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач (в соответствии с профилем подготовки) (ПК-6);
- способностью свободно владеть профессиональными знаниями для анализа и синтеза физической информации (в соответствии с профилем подготовки) (ПК-7);
- способностью проводить свою профессиональную деятельность с учетом социальных, этических и природоохранных аспектов (ПК-8);

### **компетенции, характерные для магистерской программы:**

- способность собрать и систематизировать фактический и литературный материал по теме магистерской программы;



- способность применять методы безопасности производственного персонала, сооружений и оборудования при работе с оборудованием, работающим под давлением, криогенными жидкостями, высокими напряжениями;
- способность понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования действий, направленных на лицензирование деятельности, связанной с эксплуатацией сосудов высокого давления, оборудования химической и газовой промышленности;
- способность применять на практике знания теории и методов физических исследований в области физики и техники низкотемпературного эксперимента, физики и техники высоких давлений, методов структурных исследований.

## 7. Структура и содержание научно-исследовательской практики

Общая трудоемкость практики составляет 20 зачетных единиц, 640 ак. часов.

Тема практики, как правило, индивидуальна.

№ п/п	Разделы (этапы) практики	Виды работ на практике, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)	Формы текущего контроля
1	Подготовительный этап	инструктаж по технике безопасности, составление плана практики, формулировка поставленных задач, сбор и систематизация фактического и литературного материала (150 ак. час)	
2	Экспериментальный или теоретический этап (в зависимости от темы исследования и поставленной проблемы)	проведение необходимых исследований, систематизация полученных данных (230 час)	
3	Подготовка и защита отчета по практике	Написание отчета, подготовка наглядных материалов, защита отчета (160 ак. час)	Оценка по итогам защиты отчета

## 8. Научно-исследовательские и научно-производственные технологии, используемые на практике

Обучающийся может использовать новые технологии проведения вычислений и обработки данных, технологии исследования твердых тел, имеющиеся на месте прохождения практики, с учетом новейших научных и технологических достижений в исследуемой области, например технологии получения новых материалов.

## 9. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов на практике

Научно-исследовательская практика в соответствии с п.7 данной программы включает в себя сбор и систематизация фактического и литературного материала, при этом рекомендуется воспользоваться материалами, доступными в библиотеке, в том числе электронной, а также материалами научных конференций и рабочих совещаний по близким тематикам. При подготовке плана и отчета по научно-исследовательской практике используется шаблон, рекомендованный методической комиссией факультета. К защите отчета рекомендуется подготовить материалы в виде презентации. В отчете должны быть приведены: обоснованность и целесообразность выполнения исследований, материал, полученный в процессе прохождения практики и выводы.

#### **10. Формы промежуточной аттестации (по итогам практики)**

В 10 семестре проводится защита отчета по практике, по итогам которой выставляется оценка.

#### **11. Учебно-методическое и информационное обеспечение практики**

В процессе прохождения практики студенты могут воспользоваться необходимыми материалами, имеющимися как в вузе, так и в сторонней организации, в которой проходят практику, Интернет-ресурсами, свободно распространяемым и закупленным вузом программным обеспечением.

#### **12. Материально-техническое обеспечение практики.**

В процессе прохождения практики студентам при согласии научного руководителя и организации (кафедры, института, научно-образовательного центра и др.), в которой он проходит практику, доступно научно-исследовательское, производственное оборудование, измерительные и вычислительные комплексы, другое материально-техническое обеспечение, необходимое для полноценного прохождения практики.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО с учетом рекомендаций и ПрООП ВПО по направлению подготовки 011200 – Физика на Физическом факультете Нижегородского государственного университета (Кафедра кристаллографии и экспериментальной физики, Кафедра физического материаловедения, Кафедра электроники твердого тела). Декан физического факультета ННГУ К.А. Марков

# **Программа педагогической практики**

## **Магистерская программа**

### **Физика конденсированного состояния вещества**

#### **1. Цели педагогической практики**

Целями научно-педагогической практики являются: приобретение педагогических навыков;

#### **2. Задачи педагогической практики**

Прохождения студентом педагогической практики относится к виду педагогической и просветительской деятельности студента, т.е. задачами педагогической практики являются:

- подготовка и ведение семинарских и практических занятий, а также лабораторных практикумов;
- руководство научной работой бакалавров;
- проведение кружковых занятий по физике;
- руководство учебно-исследовательскими работами школьников.

Каждый из студентов решают какую-то конкретную задачу из приведенных выше при согласовании с научным руководителем и заведующим выпускающей кафедры.

#### **3. Место педагогической практики в структуре магистерской программы**

Педагогическая практика относится к циклу основной образовательной программы магистра по направлению 011200 -Физика М.3 – Практики и научно-исследовательская работа. Данная практика базируется на дисциплинах циклов основной образовательной программы М.2.Профессиональный цикл – История и методология физики, Современные проблемы физики, другие дисциплины, имеющие отношение к той, по которой планируется проведение педагогической практики, а также на фундаментальных и профессиональных знаниях и навыках, полученных по образовательной программе бакалавра по направлению 011200 – Физика.

Прохождение педагогической практики является необходимым для допуска обучающегося к итоговой государственной аттестации.

#### **4. Формы проведения педагогической практики:**

Педагогическая практика может проводиться в форме семинарских и практических занятий, а также лабораторных практикумов, руководства научной работой бакалавров, кружковых занятий по физике, руководства учебно-исследовательскими работами школьников.

#### **5. Место и время проведения практики**

Педагогическая практика в рамках основной образовательной программы по направлению 011200 – Физика в ГОУ ВПО «Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского» проводится в течение 11 семестра. Как правило, научно-педагогическая практика проводится в вузе, а также может проводиться в образовательном учреждении среднего образования. Ответственность по практике предусмотрена в 11 семестре в виде защиты отчета на кафедре, к которой относится обучающийся.

#### **6 Компетенции обучающегося, формируемые в результате прохождения практики:**

ПК-11

В результате прохождения данной практики обучающийся должен приобрести способность руководить научно-исследовательской деятельностью студентов младших курсов и школьников в области физики.

## 7. Структура и содержание педагогической практики

Общая трудоемкость практики составляет 10 зачетных единиц, 324 ак. часа.

№ п/п	Разделы (этапы) практики	Виды работ на практике, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)	Формы текущего контроля
1	Подготовительный этап	инструктаж по технике безопасности, выбор дисциплины или темы научно-исследовательской работы, составление плана практики, изучение имеющихся методических материалов (162 ак.час)	
2	Этап проведения педагогической работы	Составление при необходимости новых методических материалов, проведение занятий в выбранной форме (81 час)	
3	Подготовка и защита отчета по практике	Написание отчета, защита отчета (81 ак. час)	Оценка по итогам защиты отчета

## 8. Научно-исследовательские и научно-производственные технологии, используемые на практике

Обучающийся может использовать новые образовательные технологии проведения занятий, информация о них, как правило, доступна. При этом студент может проконсультироваться по данному вопросу с преподавателем, ответственным за выбранную дисциплину и заведующим кафедрой.

## 9. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов на практике

Научно-педагогическая практика в соответствии с п.7 данной программы включает в себя инструктаж по технике безопасности, выбор дисциплины или темы научно-исследовательской работы, составление плана практики, изучение имеющихся методических материалов, подготовка новых при необходимости. При подготовке плана и отчета по научно-педагогической практике используется шаблон, рекомендованный методической комиссией факультета. В отчете должны быть приведены: форма проведения практики, вид, объем и темы проведенных занятий (или темы научно-исследовательских работ).

## 10. Формы промежуточной аттестации (по итогам практики)

В 11 семестре проводится защита отчета по практике, по итогам которой выставляется оценка.

## 11. Учебно-методическое и информационное обеспечение практики

В процессе прохождения практики студенты могут воспользоваться необходимыми материалами, имеющимися как в вузе, так и в сторонней организации, в которой проходят практику, Интернет-ресурсами, свободно распространяемым и закупленным вузом программным обеспечением.

## **12. Материально-техническое обеспечение практики.**

В процессе прохождения практики студентам при согласии научного руководителя и организации (кафедры, института, научно-образовательного центра и др.), в которой он проходит практику, доступно научно-исследовательское, оборудование для демонстрации некоторых экспериментов, другое материально-техническое обеспечение, необходимое для полноценного прохождения практики.

Программа составлена на физическом факультете ННГУ в соответствии с требованиями ФГОС ВПО с учетом рекомендаций и ПрООП ВПО по направлению подготовки 011200 – Физика.

## 6. Список разработчиков ПООП, экспертов

### Разработчики:

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова	Пред. УМС по физике УМО по классическому университетскому образованию, профессор	В.И. Трухин
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова	Зам. пред. УМС по физике УМО по классическому университетскому образованию, профессор, чл.- корр. РАН	Д.Р. Хохлов
Уральский государственный университет	Декан физического ф-та, профессор	А.Н. Бабушкин
Нижегородский государственный университет	Декан физического ф-та, доцент	К.А. Марков

**Эксперты:**

Институт общей физики Академии наук имени А.М. Прохорова	Директор чл.-корр. РАН	И.А. Щербаков
Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН	Зам. директора ФИАН, академик РАН	О.Н. Крохин