

Российская академия наук
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт электрофизики
Уральского отделения Российской академии наук
(ИЭФ УрО РАН)

Утверждаю»
Врио. директора ИЭФ УрО РАН



В.Г. Шпак
В.Г. Шпак
2015 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
03.06.01 – «Физика и астрономия»
Направленность 01.04.07 – «Физика конденсированного состояния»

Б1.В.ОД.1

Рабочая программа утверждена на заседании Ученого совета ИЭФ УрО РАН.
Протокол № 1 от 06.02.2015 г.

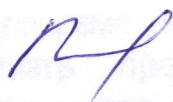
Программу составили:

г.н.с. ИЭФ УрО РАН
д.ф.-м.н., с.н.с.



Медведев М.В.

зав. лаб. ПВ УрО РАН
д.ф.-м.н., профессор



Овчинников В.В.

в.н.с. ИЭФ УрО РАН
д.ф.-м.н.



Кучинский Э.З.

СОГЛАСОВАНО:

Зам. директора по НВ ИЭФ УрО РАН
к.т.н.

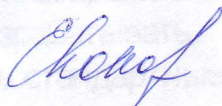
« 6 » февраля 2012 г.



Иванов М.Г.

Учёный секретарь ИЭФ УрО РАН
к.ф.-м.н.

« 6 » февраля 2012 г.



Кокорина Е.Е.

Рабочая программа утверждена на заседании Учёного совета ИЭФ УрО РАН.
Протокол № 1 от 06.02.2015 г.

1. Цели и задачи дисциплины.

– дать общее представление об атомно-молекулярной и электронной структуре веществ в конденсированном состоянии, классификации твёрдых тел, основных модельных приближениях, основных взаимодействиях и основных физических свойствах;

– научить аспиранта языку современной физики конденсированного состояния вещества, сформировать представления об электронной и кристаллической структуре твёрдых тел различной природы и методах её описания и расчёта, получить навыки решения конкретных задач.

2. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.

В результате изучения дисциплины аспирант должен:

Знать:

– основные представления о природе формирования атомной и электронной структуры конденсированных сред, классификации твёрдых тел, основных модельных приближениях, основных взаимодействиях, и основных физических свойствах.

Уметь:

– анализировать и излагать результаты экспериментальных исследований материалов в рамках современных представлений физики конденсированного состояния, разрабатывать и внедрять адекватные микроскопические модели, проводить стандартные количественные оценки.

Владеть:

– языком современной физики конденсированного состояния, чёткими представлениями о природе электронной и кристаллической структуры твёрдых тел, методами физического и математического описания основных микро- и макроскопических характеристик твёрдых тел, основными расчётными схемами.

3. Компетенции.

<i>№ п/п</i>	<i>Индекс</i>	<i>Содержание</i>
1.	ОПК-1	Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.
2.	УК-1	Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.
3.	УК-3	Готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач.
4.	УК-4	Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития.
5.	ПК-1	Способность ставить, формализовать и решать задачи, умением системно анализировать научные проблемы, генерировать новые идеи и создавать новое знание.
6.	ПК-2	Способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы и информационных технологий с учётом отечественного и зарубежного опыта.
7.	ПК-3	Способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза информации в избранной области физических исследований.
8.	ПК-4	Способность применять на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, способность самостоятельно организовывать и проводить научные исследования и внедрять их результаты в качестве члена или руководителя коллектива.

4. Объём дисциплины и виды учебной работы.

<i>Вид учебной работы</i>	<i>Всего</i>		<i>Период обучения</i>
	<i>часов</i>	<i>ЗЕТ</i>	
Общая трудоёмкость дисциплины	144	4	четвёртый курс
Аудиторные занятия, в т.ч.:			
Лекции	36	1	
Практические занятия (ПЗ)			
Самостоятельная работа	72	2	
Контроль самостоятельной работы	18	0,5	
Контроль	18	0,5	

5. Содержание дисциплины.

5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

<i>№ п/п</i>	<i>Раздел дисциплины</i>	<i>Лекции</i>	<i>ПЗ</i>	<i>Сам. раб.</i>	<i>Контр. сам. раб.</i>	<i>Контр- роль</i>
1	Силы связи в конденсированных средах.	4		8	2	2
2	Симметрия твёрдых тел.	3		6	1,5	1,5
3	Дефекты в твёрдых телах.	3		6	1,5	1,5
4	Колебания решётки.	3		6	1,5	1,5
5	Электронные свойства металлов в модели свободного электронного газа.	3		6	1,5	1,5
6	Зонная теория энергетического спектра электронов в кристаллической решётке.	4		8	2	2
7	Полупроводники.	4		8	2	2
8	Явления переноса в диэлектрических кристаллах.	3		6	1,5	1,5
9	Сверхпроводимость.	4		8	2	2
10	Радиационная физика твёрдого тела.	5		10	2,5	2,5
Всего час.		36		72	18	18

5.2. Содержание разделов дисциплины.

5.2.1. Силы связи в конденсированных средах.

Электронная структура многоэлектронных атомов. Химическая связь и валентность. Типы связи в конденсированном состоянии: ван-дер-ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь, водородная связь.

Химическая связь и ближний порядок. Структура веществ с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl и NaCl, структура типа перовскита.

Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структуры типа селена, алмаза и графита. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах.

5.2.2. Симметрия твёрдых тел.

Кристаллические и аморфные твёрдые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера-Зейтца. Решётка Браве. Обозначение узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решётка, её свойства. Зона Бриллюэна.

Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции симметрии.

Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решёток Браве.

5.2.3. Дефекты в твёрдых телах.

Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

Дефекты упаковки и плоскости двойникования.

5.2.4. Колебания решётки.

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

Теплоёмкость твёрдых тел. Решёточная теплоёмкость и её температурная зависимость. Квантовая теория теплоёмкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

5.2.5. Электронные свойства металлов в модели свободного электронного газа.

Типичные свойства металлического состояния вещества. Модель свободного электронного газа Ферми. Свойства свободного электронного газа Ферми при нулевой температуре.

Температурная зависимость функции распределения Ферми-Дирака. Теплоёмкость электронного газа и её температурная зависимость при низких температурах. Парамагнитная восприимчивость свободного электронного газа.

Электропроводность и закон Ома, формула Друде-Лоренца. Движение электронов в магнитном поле (циклотронная частота, статическое магнетосопротивление и эффект Холла).

Диэлектрическая реакция электронного газа на переменное электрическое поле. Плазменная частота газа свободных электронов.

5.2.6. Зонная теория энергетического спектра электронов в кристаллической решётке.

Уравнение Шрёдингера для электрона в самосогласованном поле периодического кристаллического потенциала. Блоховские волновые функции электрона в кристаллической решётке. Свойства волнового вектора блоховской волновой функции.

Энергетический спектр зонных электронов и вид поверхности Ферми в приближении сильной связи. Приближение слабой связи (случай почти свободных электронов). Закон дисперсии электронов в приближении слабой связи в различных зонных схемах. Поверхность Ферми для почти свободных электронов и её построение в схеме расширенных зон Бриллюэна, в схеме приведённых зон и в периодической зонной схеме.

Классификация твёрдых тел по проводимости (металлы, диэлектрики и полупроводники) с точки зрения зонного характера энергетического спектра электронов. Моттовские диэлектрики как сильнокоррелированные вещества, необъяснимые с позиций зонного спектра одноэлектронного уравнения Шрёдингера.

Динамика электрона в зонной теории. Электронные и дырочные орбиты движения электронов в магнитном поле. Дырки и их свойства. Эффективная масса электрона в кристалле. Плотность состояний электронов для произвольного закона дисперсии. Особенности ВанХова в плотности электронных состояний.

5.2.7. Полупроводники.

Типичные свойства полупроводников. Примеры зонной структуры полупроводников. Прямые и непрямые оптические переходы через запрещённую энергетическую щель.

Концентрация носителей тока в термодинамическом равновесии. Концентрация собственных носителей тока и положение уровня химического потенциала в энергетической щели в случае собственной проводимости.

Примесные энергетические уровни в несовершенных полупроводниках. Равновесная концентрация носителей тока в примесном полупроводнике. Глубокие примесные уровни и их влияние на проводимость полупроводников.

Положение уровня химического потенциала в несовершенных полупроводниках. Контактные явления на контакте несовершенных полупроводников р- и n-типа. Вольтамперная характеристика р-n контакта. Сильнолегированные полупроводники и вольтамперная характеристика туннельного диода.

Особенности кинетических явлений в полупроводниках.

5.2.8. Явления переноса в диэлектрических кристаллах.

Фотопроводимость в диэлектрических кристаллах и влияние электронных ловушек на её характеристики. Примеры использования эффектов фотопроводимости в технических приложениях (фотография, ксерокопирование).

Ионная проводимость в ионных кристаллах при высоких и низких температурах. Вакансионный механизм самодиффузии ионов как основной механизм ионной проводимости. Различие ролей термодинамически равновесных и структурных вакансий. Суперионные проводники.

Электрический пробой диэлектриков.

5.2.9. Сверхпроводимость.

Основные физические свойства сверхпроводящего состояния. Эффект Мейсснера, сверхпроводники I и II рода. Термодинамика перехода в сверхпроводящее состояние в сверхпроводнике I рода.

Лондоновская электродинамика сверхпроводников, глубина проникновения магнитного поля в сверхпроводник и её величина в двухжидкостной модели сверхпроводимости.

Основные физические представления микроскопической теории сверхпроводимости Бардина-Купера-Шриффера. Косвенное притяжение электронов через фононы. Синглетные куперовские пары и длина когерентности. Зависимость критической температуры сверхпроводящего перехода от физических параметров металла. Влияние кулоновского отталкивания электронов на сверхпроводящий переход.

Поверхностная энергия границ раздела между сверхпроводящей и нормальной фазами в сверхпроводниках I и II рода. Структура смешанного состояния в сверхпроводниках II рода. Критические токи в сверхпроводниках I и II рода.

Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона.

5.2.10. Радиационная физика твёрдого тела

Ионизирующие излучения и их источники. Естественная и искусственная радиоактивность.

Расчёт асимптотических значений энергии частиц при упругих столкновениях.

Межатомные потенциалы. Область применимости классической механики. Столкновения частиц.

Общее теоретическое рассмотрение траекторий при столкновении. Определение дифференциального сечения рассеяния с заданной энергией атома отдачи и полного сечения рассеяния. Импульсное приближение. Приближение твёрдых сфер. Классификация ионов (атомов), осколков деления. Быстрые лёгкие ионы, кулоновские столкновения. Осколки деления. Первичные атомы отдачи и тяжёлые ионы ($E < 10^6$ эВ). Быстрые электроны. Релятивистские столкновения.

Потери энергии и пробеги ионов в твёрдых телах. Ядерное торможение (упругое взаимодействие с атомами мишени). Электронное торможение. Распределение пробегов. Каскады атомных столкновений. Фокусированные соударения. Каналирование.

Взаимодействие быстрых электронов с веществом. Ионизационные потери. Радиационные потери. Излучение Вавилова-Черенкова. Взаимодействие γ - и рентгеновского излучения с веществом. Томпсоновское рассеяние. Эффект Комптона. Фотоэффект. Образование электрон-позитронных пар. Взаимодействие нейтронов с веществом. Формирование особых структурных состояний и свойств твёрдых тел при радиационных воздействиях.

Рентгеноструктурный анализ ионно-легированных металлов и сплавов. Метод ядерного гамма-резонанса (эффект Мессбаура) в исследованиях конденсированных сред.

5.3. Самостоятельная работа аспирантов.

5.3.1. Проработка лекционного материала по конспектам и учебной литературе (48 ч.).

5.3.2. Подготовка к контролю по дисциплине (6 ч.).

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

6.1. Рекомендуемая литература.

а) основная литература:

1. Ашкрофт, Н., Мермин, Н. Физика твёрдого тела. – М.: Мир, 1979.
2. Блейкмор, Дж. Физика твёрдого тела. – М.: Мир, 1988.

3. Павлов, П.В., Хохлов, А.Ф. Физика твёрдого тела. – М.: Высшая школа, 1993.
4. Епифанов, Г.И. Физика твёрдого тела. – Лань, 1977.
5. Sadovskii, M.V. Statistical physics. – Berlin: De Gruyter, 2012. – 282 p.

б) дополнительная литература:

1. Бонч-Бруевич, В.Л., Калашников, С.Г. Физика полупроводников. – М.: Физматлит, 1990.
2. Шмидт, В.В.. Введение в физику сверхпроводников. – М.: МЦНМО, 2000.

в) методическое обеспечение:

<http://iep7.iep.uran.ru/iep/aspir.htm>

6.2. Информационное обеспечение.

№ п/п	Ссылка на информационный ресурс	Наименование разработки в электронной форме	Доступность
	http://elibrary.ru/	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	доступ свободный

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины.

Для проведения занятий по дисциплине используются: компьютерный класс, аудитория для семинарских занятий, лаборатории Института, расчётные серверы лаборатории теоретической физики ИЭФ УрО РАН, оборудование: оргтехника, проектор, сверхскоростная электронно-оптическая трёхкадровая камера, оптический спектрограф, стрик-камера видимого и ближнего УФ диапазона, просвечивающий электронный микроскоп, растровый электронный микроскоп, прибор синхронного ТГ-ДТА/ДСК анализа, анализатор удельной поверхности, источник широкого пучка ионов металлов, низкоэнергетичный источник широкого пучка ионов газов с плазменным катодом, лабораторная установка нанесения алмазоподобных углеводородных покрытий, лабораторная установка для азотирования сталей и сплавов в плазме, лабораторная установка ионной имплантации, лабораторная установка реактивного магнетронного нанесения многокомпонентных покрытий.

Программа составлена с учётом рекомендаций по формированию основных профессиональных образовательных программ послевузовского профессионального образования для обучающихся в аспирантуре (№ 0160 от 17 июля 2012 г. Серия 90Л01 № 0000173) и на основе Федеральных государственных требований к структуре основной профессиональной образовательной программы послевузовского профессионального образования (аспирантура), утверждённых приказом Министерства образования и науки РФ от 16.03.2011 г. № 1365 (зарегистрирован Министерством юстиции РФ 10.05.2011 г., регистрационный № 20700).