

Рабочая программа дисциплины (модуля)

1. Наименование дисциплины (модуля): Динамика решётки и электронные свойства неупорядоченных веществ.
2. Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.
3. Направление подготовки: 04.06.01 "Химические науки", направленности 02.00.01 «Неорганическая химия», 02.00.21 «Химия твердого тела»
4. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП: вариативная часть ООП, блок 1 «Дисциплины (модули)». Дисциплина по выбору аспиранта.
5. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)
УК-2 способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки	31 (УК-2) Знать методологию научно-исследовательской деятельности
ОПК-1 способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	У1 (ОПК-1) Уметь выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные методы исследования электрооптических и тепловых свойств неупорядоченных веществ.
ПК-1 Способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой	32 (ПК-1) Знать наиболее признанные модели физики неупорядоченных конденсированных сред для интерпретации экспериментальных данных исследований электрических, оптических и тепловых свойств неупорядоченных веществ на основе неорганических материалов У2 (ПК-1) Уметь использовать наиболее признанные модели физики неупорядоченных конденсированных сред для интерпретации на качественном уровне экспериментальных данных

степени кандидата наук по направленности (научной специальности) 02.00.01 Неорганическая химия	исследований электрических, оптических и тепловых свойств неупорядоченных веществ на основе неорганических материалов
ПК-16 способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности (научной специальности) 02.00.21 Химия твердого тела	33 (ПК-16) Знать основные понятия и модели в области физики неупорядоченных твёрдых тел

6. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины (модуля) составляет 3 зачетные единицы, всего 108 часов, из которых 36 часов составляет контактная работа аспиранта с преподавателем (32 часа занятия лекционного типа, 4 часа мероприятия текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации), 72 часа составляет самостоятельная работа учащегося

7. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия.

В бакалавриате или магистратуре должны быть освоены общие курсы «Математический анализ», «Физика», «Квантовая физика», «Статистическая физика», а также курсы по физике твердого тела и полупроводников, в которых излагались основы зонной теории электронного строения кристаллов, тепловых, кинетических явлений в твердых телах.

8. Формат обучения.

очная форма обучения, лекционные занятия.

9. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам.

Наименование и краткое содержание разделов и тем	Всего (часы)	В том числе	
		Контактная работа (работа во взаимодействии с	Самостоятельная работа

дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)		преподавателем), часы из них					обучающегося, часы из них			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Групповые консультации	Индивидуальные консультации	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации	Всего	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов.п..	Всего
Тема 1. Микроскопически неупорядоченной среды и неупорядоченные конденсированные среды. Топологический, структурный и композиционный беспорядок. Беспорядок и нарушение дальнего порядка в твердом теле. Модель Полка. Примеры неупорядоченных сред: аморфные металлы и полупроводники, легированные и компенсированные полупроводники, сплавы, стекла, полимеры и т.д. Методы исследования и основные экспериментальные факты о свойствах неупорядоченных сред. Влияние разупорядочения на фононные состояния. Точечный дефект. Уравнение Лифшица. Локализация колебаний вблизи точечных, плоских и линейных дефектов кристаллической структуры. Локализация фононных	52	16					16	18	18	36

<p>состояний в моделях андерсоновского типа. Кластерные модели. Перенормировка спектра акустических колебаний в кластерной модели. Двухуровневая модель. Особенности комбинационного рассеяние света и низкотемпературные аномалии теплоемкости и теплопроводности в аморфных веществах.</p>											
<p>Тема 2. Характер электронных состояний в неупорядоченных средах. Энергетический спектр. Модель Торпа-Уэйра. Влияние случайного потенциала на спектр электронных состояний. Особенности оптических свойств неупорядоченных веществ. Локализованные и делокализованные состояния. Модель Андерсона. Переход металл-диэлектрик андерсоновского типа. Порог подвижности. Основные понятия теории протекания. Описание перехода металл-изолятор в рамках моделей теории протекания. Описание проводимости неупорядоченной среды на постоянном токе. Понятие прыжковой проводимости. Модель сетки Миллера-Абрахама. Вывод законов прыжковой проводимости и термоэдс с помощью критерия связности. Масштабная теория</p>	52	16					16	18	18		36

(скейлинг). Критическое поведение проводимости и радиуса локализации при переходе металл-изолятор. Температурные зависимости проводимости в модели однопараметрического скейлинга. Проводимость неупорядоченных сред в магнитном поле. Сетка сопротивлений Миллера-Абрахама в слабом и сильном магнитном полях. Интерпретация отрицательного магнитосопротивления в области прыжковой проводимости. Эффект Холла в неупорядоченных средах. Квантовый эффект Холла и беспорядок. Неупорядоченные среды в сильном электрическом поле. Эффекты Пула-Френкеля и Фаулера-Нордгейма. Туннелирование в скрещенных и параллельных электрическом и магнитном полях.. Проводимость неупорядоченных веществ на переменном токе. Особенности нестационарных процессов в неупорядоченных средах. Бесфононная и фононная составляющие проводимости на переменном токе. Мультиплетная прыжковая проводимость.										
Промежуточная аттестация <u>зачет</u>	4					4	4			
Итого	108	32				4	36	36	36	72

10. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы аспирантов по дисциплине (модулю):

Конспекты лекций, списки задач к лекциям, основная и дополнительная учебная литература.

11. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю).

- Перечень компетенций: *УК-2, ОПК-1, ПК-1, ПК-16.*
- Описание шкал оценивания: *зачет*
- Вопросы к зачету:
 1. Понятие неупорядоченной среды. Типы беспорядка.
 2. Беспорядок и нарушение дальнего порядка в твердом теле. Модель Полка.
 3. Примеры неупорядоченных конденсированных веществ. Их отличие от микрокристаллических веществ.
 4. Основные экспериментальные факты о свойствах неупорядоченных веществ.
 5. Электронные состояния в неупорядоченных веществах. Энергетический спектр. Модель Торпа-Уэйра.
 6. Влияние случайного потенциала на спектр электронных состояний. Квазиклассический расчет плотности состояний в легированном полупроводнике.
 7. Влияние случайного потенциала на спектр электронных состояний. Расчет плотности состояний в легированном полупроводнике методом оптимальных флуктуаций.
 8. Механизм особенностей оптического поглощения в неупорядоченных веществах.
 9. Локализованные и делокализованные электронные состояния. Модель Андерсона. Переход металл-диэлектрик андерсоновского типа.
 10. Основные понятия теории протекания.
 11. Описание перехода металл-изолятор в рамках теории протекания. Поведение проводимости и радиуса локализации при переходе металл-изолятор.
 12. Описание проводимости неупорядоченной среды на постоянном токе. Понятие прыжковой проводимости. Уравнение балансов.
 13. Линеаризация уравнения балансов в случае слабого электрического поля. Сетка Миллера-Абрахама.
 14. Вывод законов температурной зависимости сопротивления для прыжковой проводимости с помощью критерия связности.
 15. Проводимость неупорядоченных веществ на переменном токе. Бесфононная и фононная составляющие проводимости на переменном токе. Мультиплетная проводимость.
 16. Термоэдс в области прыжковой проводимости.
 17. Масштабная теория (скейлинг). Основное уравнение. Функция Гел Манна-Лоу.
 18. Критическое поведение проводимости и радиуса локализации при переходе металл-изолятор в модели однопараметрического скейлинга.
 19. Неупорядоченные среды в сильном электрическом поле. Эффекты Пула-Френкеля и Фаулера-Нордгейма.
 20. Проводимость неупорядоченных сред в магнитном поле.
 21. Квантовые поправки к проводимости в магнитном поле.
 22. Интерпретация отрицательного магнитосопротивления в области прыжковой проводимости.
 23. Эффект Холла в неупорядоченных средах. Квантовый эффект Холла и беспорядок.

24. Динамика решетки с точечным дефектом. Уравнение Лифшица. Локализация колебаний вблизи дефектов кристаллической структуры.
25. Влияние кластеров на спектр фононов.
26. Локализация фононных состояний в моделях андерсоновского типа.
27. Особенности комбинационного рассеяния света в аморфных веществах.
28. Низкотемпературные аномалии решеточных теплоемкости и теплопроводности в аморфных и стеклообразных веществах.

Методические материалы для проведения процедур оценивания результатов обучения

Зачет проводится по билетам, каждый из которых включает теоретические вопросы и практические задания. Уровень знаний аспиранта оценивается на «зачтено», «незачтено». Оценка «зачтено» выставляется, если по шкале оценивания учащийся демонстрирует знания и умения, соответствующие категориям 3, 4 и 5.

- Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю), характеризующих этапы формирования компетенций.

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю) и ШКАЛА оценивания					ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ*
	1	2	3	4	5	
31 (УК-2)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания методологии научно-исследовательской деятельности	Неполные знания методологии научно-исследовательской деятельности	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания методологии научно-исследовательской деятельности	Сформированные систематические знания методологии научно-исследовательской деятельности	Зачет в форме индивидуального собеседования
У1 (ОПК-1)	Отсутствие умений	Частично освоенное умение выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные методы исследования электрооптических и тепловых свойств неупорядоченных	В целом успешное, но не систематическое умение выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные методы исследования электрооптических и тепловых свойств неупорядоченных	В целом успешное, но содержащие отдельные пробелы умение выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные методы исследования электрооптических и тепловых свойств неупорядоченных веществ	Сформированное умение выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные методы исследования электрооптических и тепловых свойств неупорядоченных веществ	письменное решение задач

		веществ	веществ			
32 (ПК-1)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания наиболее признанных моделей физики неупорядоченных конденсированных сред для интерпретации экспериментальных данных исследований электрических, оптических и тепловых свойств неупорядоченных веществ на основе неорганических материалов	Неполные знания наиболее признанных моделей физики неупорядоченных конденсированных сред для интерпретации экспериментальных данных исследований электрических, оптических и тепловых свойств неупорядоченных веществ на основе неорганических материалов	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания наиболее признанных моделей физики неупорядоченных конденсированных сред для интерпретации экспериментальных данных исследований электрических, оптических и тепловых свойств неупорядоченных веществ на основе неорганических материалов	Сформированные систематические знания наиболее признанных моделей физики неупорядоченных конденсированных сред для интерпретации экспериментальных данных исследований электрических, оптических и тепловых свойств неупорядоченных веществ на основе неорганических материалов	Зачет в форме индивидуального собеседования
У2 (ПК-1)	Отсутствие умений	Частично освоенное умение использовать наиболее признанные модели физики неупорядоченных конденсированных сред для интерпретации на качественном уровне экспериментальных данных исследований электрических, оптических и тепловых свойств неупорядоченных веществ на основе неорганических материалов	В целом успешное, но не систематическое умение использовать наиболее признанные модели физики неупорядоченных конденсированных сред для интерпретации на качественном уровне экспериментальных данных исследований электрических, оптических и тепловых свойств неупорядоченных веществ на основе неорганических материалов	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение использовать наиболее признанные модели физики неупорядоченных конденсированных сред для интерпретации на качественном уровне экспериментальных данных исследований электрических, оптических и тепловых свойств неупорядоченных веществ на основе неорганических материалов	Успешное и систематическое умение использовать наиболее признанные модели физики неупорядоченных конденсированных сред для интерпретации на качественном уровне экспериментальных данных исследований электрических, оптических и тепловых свойств неупорядоченных веществ на основе неорганических материалов	письменное решение задач
33 (ПК-16)	Отсутствие	Фрагментарные	Неполные знания	Сформированные, но	Сформированные	Зачет в форме

	знаний	знания основных понятий и моделей в области физики неупорядоченных твёрдых тел	основных понятий и моделей в области физики неупорядоченных твёрдых тел	содержащие отдельные пробелы знания основных понятий и моделей в области физики неупорядоченных твёрдых тел	систематические знания основных понятий и моделей в области физики неупорядоченных твёрдых тел	индивидуального собеседования
--	--------	--------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------

12. Ресурсное обеспечение:

Перечень основной учебной литературы:

1. Гантмахер В.Ф. Электроны в неупорядоченных средах. М.: Физматлит, 2005.
2. Забродский А.Г., Немов С.А., Равич Ю.И. Электронные свойства неупорядоченных систем. С.-Петербург: Наука, 2000.
3. Гусев А.И. Нестихиометрия, беспорядок, ближний и дальний порядок в твердом теле. М.: Физматлит, 2007.
4. Миронова Г.А. Конденсированное состояние вещества. От структурных единиц до живой материи. Том 2. М.: Физический факультет МГУ, 2006.

Перечень дополнительной учебной литературы:

1. Беттер Х. Принципы динамической теории решетки. М.: Мир, 1988.
2. Звягин И.П. Кинетические явления в неупорядоченных полупроводниках. М.: МГУ, 1984.
3. Мотт Н., Девис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. Тома 1 и 2. М.: Мир, 1982.
4. Шкловский Б.И., Эфрос А.Л. Электронные свойства легированных полупроводников. М.: Наука, 1979.

13. Язык преподавания: русский.

14. Преподаватель: Богданов Евгений Владимирович, доктор физико-математических наук, bev@lt.phys.msu.ru, 8-495-939-13-60